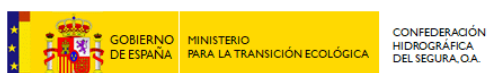




XXXVIII CONGRESO NACIONAL DE RIEGOS, PARTE I

JORNADA VIRTUAL DE RIEGOS 23-9-2020

CARTAGENA (Murcia) 2020



Editor: Universidad Politécnica de Cartagena, Servicio de Documentación
Maquetación: Asociación Española de Riegos y Drenajes (AERYD), José Francisco Maestre Valero y
Victoriano Martínez Álvarez.

DOI: 10.31428/10317/8657

ISBN: 978-84-17853-19-8

URL: <http://hdl.handle.net/10317/8657>

ORGANISMOS Y ENTIDADES ORGANIZADORES

ASOCIACIONESPAÑOLA DE RIEGOS Y DRENAJES - AERYD
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
SINDICATO CENTRAL DE REGANTES DEL ACUEDUCTO TAJO-SEGURA, SCRATS
EMPRESA DE TRANSFORMACIÓN AGRARIA, S.A., S.M.E., M.P., TRAGSA
SOCIEDAD ESTATAL DE INFRAESTRUCTURAS AGRAIAS, SEIASA
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA
COMUNIDAD DE REGANTES DEL CAMPO DE CARTAGENA
FEDERACIÓN NACIONAL DE COMUNIDADES DE REGANTES, FENACORE

ORGANISMOS Y ENTIDADES COLABORADORES

CÁTEDRA DE EMPRESA TRASVASE Y SOSTENIBILIDAD JOSÉ MANUEL CLAVER VALDERAS
CONSEJO GENERAL DE COLEGIOS OFICIALES DE INGENIEROS AGRÓNOMOS
COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS AGRÓNOMOS DE CENTRO Y CANARIAS

COMITÉ ORGANIZADOR

Presidentes:

D. Alejandro Díaz Morcillo, Rector de la Universidad Politécnica de Cartagena UPCT
D. Lucas Jiménez Vidal, Presidente del Sindicato de Regantes del Acueducto Tajo-Segura SCRATS

Secretarios:

Central: AERYD.

Local: D. Alejandro Pérez Pastor, Vicerrector de Innovación y Empresa UPCT

Vocales:

D. José M^a de Miguel Pérez, Presidente de AERYD
D. Victoriano Martínez Álvarez, Catedrático ETSI Agronómica UPCT
D. Alfonso Botía Pantoja, SCRATS
D. Mariano Soto García, Secretario de la CR Campo de Cartagena
D. Roberto Ocón Pérez de Albéniz, Gerente de Regadíos, Grupo TRAGSA
D. Miguel Valero Ganau, Jefe de Obras, Proyectos y Explotación Valencia, SEIASA
D. Sebastián Delgado Amaro, Director Gra. Agau, Consejería Agua Región de Murcia
D. Francisco Javier García Garay, Comisario de Aguas de la C.H. del Segura
D. Andrés Antonio Martínez Bastida, Decano Colegio Oficial Ingenieros Agrónomos Región de Murcia

COMITÉ CIENTÍFICO-TÉCNICO

- COORDINADOR Y RELATOR DEL TEMA A: Investigación, desarrollo e innovación en riego y drenaje.

Dr. Rafael Domingo Miguel (Universidad Politécnica de Cartagena)

Revisores:

Dra. María del Carmen Ruíz Sánchez (CEBAS-CSIC)
Dr. Bernardo Pascual España (Universidad Politécnica de Valencia)
Dr. José Manuel Mirás Avalos (Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón)
Dr. Alfonso Moriana Elvira (Universidad de Sevilla)
Dr. Roque Torres Sánchez (Universidad Politécnica de Cartagena)
Dr. Luis Gonzaga Sanesteban García (Universidad Pública de Navarra)
Dr. Fulgencio Soto Vallés, (Universidad Politécnica de Cartagena)

- COORDINADOR Y RELATOR TEMA B: Ingeniería y gestión de regadíos.

Dr. Victoriano Martínez Álvarez, (Universidad Politécnica de Cartagena)

Revisores:

Dr. Luis Juana Sirgado (Universidad Politécnica de Madrid)
Dr. Manuel Valiente Gómez (Universidad de Castilla La Mancha)
Dr. Emilio Camacho Poyato (Universidad de Córdoba)
Dr. Gerard Arbat Pujolras (Universidad de Girona)
Dr. Jose Francisco Maestre Valero (Universidad Politécnica de Cartagena)
Dr. Juan Manzano Juarez (Universidad Politécnica de Valencia)

- COORDINADOR Y RELATOR DEL TEMA C: Sesión Especial sobre Balsas de Riego.

Dr. José M^a González Ortega, (TRAGSATEC, Grupo TRAGSA)

Revisores:

Dr. Francisco J. Sánchez Romero (Universidad Politécnica de Valencia)
Dr. Juan Bautista Torregrosa Soler (Universidad Politécnica de Valencia)
Dr. Francisco Zapata Raboso (Generalitat Valenciana)
D. Andrés Antonio Martínez Bastida (Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de la Región de Murcia)
D. Sebastián Delgado Amaro (Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente)
D. Miguel Majuelos Moraleda (Sociedad Mercantil Estatal de Infraestructuras Agrarias)
D. Escolástico Aguiar González (Balten)
D. José Luis Cuenca Lorenzo (Tencate)

EMPRESAS PATROCINADORAS EXPOSITORAS

OXI-FUCH GRUPO SEWERVAC
MOLECOR TECNOLOGÍA, S.L.
LIMPIABALSAS, S.L.
SISTEMA AZUD, S.A.
PREFABRICADOS DELTA, S.A.
BOLLFILETER ESPAÑA, S.L.U.
PSP WATER ENGINEERING

EMPRESAS COLABORADORAS

FEDERACIÓN NACIONAL DE COMUNIDADES DE REGANTES DE ESPAÑA-FENACORE
SERINA, SERVICIOS DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA, S.L.

TRABAJOS PRESENTADOS AL 38 CNR – CARTAGENA, Murcia 2020, Parte I

Los trabajos señalados con una “P” son presentados en la modalidad de póster, y “OyP” en la modalidad oral con apoyo de un póster

A) INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN EN RIEGO Y DRENAJE

Nº	TÍTULO DEL TRABAJO
A-01-2020	LAS FUENTES DE INFORMACIÓN EN AGRICULTURA. ESTUDIO Y EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE DE OLIVAR DE RIEGO EN ANDALUCÍA. COMPARACIÓN CON LA PROVINCIA DE JAÉN. Por, <u>Molina Moral, J.C. (P)</u> y <u>Pérez Latorre, F.J.</u>
A-08-2020 P	CALIDAD DE TOMATE CULTIVADO CON AGUA DESALADA EN SISTEMA HIDROPÓNICO. Por, <u>Antolinos, V.</u> , <u>Sánchez-Martínez, M.J.</u> , <u>Maestre-Valero, J.F.</u> , <u>Gallego-Elvira, B.</u> , <u>Marín Membrive, P.</u> , <u>López-Gómez, A.</u> , <u>Martínez-Hernández, G.B.(P)</u>
A-09-2020	EFFECTO DEL MANEJO DEL RIEGO SOBRE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD POSTCOSECHA DE NECTARINA. Por, <u>Conesa M.R.</u> , <u>Conejero, W.</u> , <u>Vera, J.</u> , <u>Ruiz-Sánchez, M.C.(P)</u>
A-16-2020	UTILIZACIÓN DEL CÓDIGO HYDRUS-2D PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD Y FRECUENCIA DE RIEGO EN ARROZ REGADO POR GOTEO SUBTERRÁNEO EN SUELOS DE DISTINTA TEXTURA. Por, <u>G. Arbat (P)</u> , <u>S. Cufí</u> , <u>M. Duran-Ros</u> , <u>J. Pinsach</u> , <u>C. Prieto</u> , <u>J. Pujol</u> , <u>J. Puig-Bargués</u> , <u>F. Ramírez de Cartagena, F.</u>
A-17-2020	SISTEMAS DE CULTIVO EN LIMEROS: EFECTOS EN LA PRODUCCIÓN Y CRECIMIENTO. Por, <u>Mira-García, A.B.(P)</u> , <u>Conejero, W.</u> , <u>Vera, J.</u> , <u>Ruiz-Sánchez, M.C.</u>
A-20-2020 P	DIFERENCIAS EN UN CULTIVO DE TOMATE REGADO CON AGUA DE MAR DESALINIZADA Y MEZCLADA CON AGUA DE POZO, CULTIVADO EN SUELO Y EN HIDROPÓNICO. Por, <u>Marín Membrive, P. (P)</u> , <u>Valera Martínez, D.L.</u> , <u>Reca Cardeña, J.</u> , <u>Maestre Valero, J.</u> , <u>Moreno Teruel, M.A.</u> , y <u>Urrestarazu Gavilán, M.</u>
A-21-2020 P	BANCO DE CALIBRACIÓN DE SONDAS DE HUMEDAD UPV-IVIA. Por, <u>Martínez Gimeno, M.A.</u> , <u>Badal Marín, E.</u> , <u>Bonet Pérez de León, L.</u> , <u>BalbastrePeralta, I.</u> , <u>Lidón Cerezuela, A.</u> , <u>Manzano Juárez, J.(P)</u>
A-22-2020	DETERMINACIÓN DEL ESTADO HÍDRICO DEL VIÑEDO MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES TÉRMICAS Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD Y PRODUCCIÓN DE LA UVA. Por, <u>Rodríguez-Fernández, M. (P)</u> , <u>González, X.P.</u> , <u>Fandiño, M.</u> , <u>Cancela, J.J.</u>
A-25-2020	EVALUACIÓN DEL USO DE RECURSOS HÍDRICOS NO CONVENCIONALES EN LA SALINIDAD DEL SUELO Y EL DESARROLLO DEL CULTIVO DE LECHUGA MEDIANTE EL USO DE DRONES EN EL CAMPO DE CARTAGENA. Por, <u>Pedrero Salcedo (P)</u> , <u>Francisco</u> , <u>Llobet Escabias, Marina</u> , <u>Boesveld, Harm</u> , <u>Bartholomeus, Harm</u> , <u>Alarcón Cabañero, Juan José.</u>
A-26-2020	OPTIAQUA: HERRAMIENTA PARA GESTIONAR LOS RIEGOS. Por, <u>Huete Cuevas, J. (P)</u> , <u>Tobar Pardo, V.</u> , <u>Omaña Álvarez, J.M.</u> , <u>Quijano García Gonzalez, A.</u>
A-27-2020 P	APLICACIÓN DE LA ESPECTROSCOPIA ULTRASÓNICA RESONANTE PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO HÍDRICO DE CÍTRICOS EN CAMPO: BASE TEÓRICA Y MONTAJE. Por, <u>Fariñas, L.</u> , <u>Badal Marín, E.</u> , <u>Martínez Gimeno, A.</u> , <u>Bonet, L.</u> , <u>Manzano, J. (P)</u>
A-28-2020 P	RIEGO DE UN CULTIVO DE CITRICOS CON AGUA MARINA DESALINIZADA. RESULTADOS PRELIMINARES EN SUELO Y PLANTA. Por, <u>Navarro, J.M. (P)</u> , <u>Robles, J.M.</u> , <u>Antolinos, V.</u> , <u>Botía, P.</u> , <u>Hernández, F.M.</u> , <u>Olivares, L.</u> , <u>Arques, E.</u> , <u>Maestre-Valero, V.</u> , <u>Martínez-Alvarez, V.</u> , <u>Jodar, F.J.</u> , <u>Acosta-Avilés, J.A.</u> , <u>Pérez-Pérez, J.G.</u>
A-30-2020 P	APLICACIÓN DE LA OXIFERTIRRIGACIÓN PARA OPTIMIZAR LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CÍTRICOS, BASADO EN LA APLICACIÓN DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN EL AGUA DE RIEGO. Por, <u>Robles García, J.M. (P)</u> , <u>Botía Ordaz, P.</u> , <u>Olivares Quilez, L.</u> , <u>Palazón López, J.A.</u> , <u>Navarro Acosta, J.M.</u> , <u>Arques Pardo, E.M.</u> , <u>Martínez Izquierdo, A.V.</u> , <u>Hernández Ballester F.M.</u> , <u>Pérez-Pérez, J.G.</u>
A-31-2020 P	OZONIZACIÓN DE AGUAS REGENERADAS EN POMELO ‘STAR RUBY’. COMPORTAMIENTO DE LA INSTALACIÓN Y RESPUESTA AGRONÓMICA Y FISIOLÓGICA DEL CULTIVO. Por, <u>Botía Ordaz, P. (P)</u> , <u>Hernandez Ballester, F.M.</u> , <u>Robles García, J.M.</u> , <u>Olivares Quilez, L.</u> , <u>Palazón López, J.A.</u> , <u>Arques Pardo, E.M.</u> , <u>Martínez Izquierdo, A.V.</u> , <u>Romero Azorín, P.</u> , <u>Berríos, P.</u> , <u>Gil Fernández, I.</u> , <u>Pérez-Pastor, A.</u> , <u>Navarro Acosta, JM.</u>

Nº	TÍTULO DEL TRABAJO
A-32-2020	ESTUDIO DE LAS RELACIONES HÍDRICAS EN CEREZOS SOMETIDOS A CICLOS DE SUPRESIÓN – RECUPERACIÓN DEL RIEGO. Por, <u>Blaya Ros, P.J. (P)</u> , Blanco Montoya, V., Torres Sánchez, R., González Teruel, J.D., Soto Valles, F., Toledo Moreo, A.B., Jiménez Buendía, M., Domingo Miguel, R.
A-33-2020 P	EVALUACIÓN DE LÍNEAS DE REFERENCIA DE POTENCIAL DE TALLO Y MÁXIMA CONTRACCIÓN DIARIA DE RAMA PARA LA PROGRAMACIÓN DEL RIEGO EN CEREZO. Por, Blanco Montoya, V., Blaya Ros, P.J., Temnani, A., Torres Sánchez, R., González Teruel, J.D., Soto Valles, F., Toledo Moreo, A.B., Jiménez Buendía, M., Domingo Miguel, R.
A-34-2020	RESPUESTA FISIOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE POMELOS CV. ‘STAR RUBY’ A LA SUPRESIÓN DEL RIEGO DURANTE EL CRECIMIENTO DEL FRUTO. Por, <u>Berríos, Pablo (P)</u> , Gil, Ismael, Temnani, Abdelmalek, Pérez, David, Forcén, Manuel, Zapata, Susana, Botía Ordaz, P., Navarro Acosta, J.M., Hernández Ballester F.M., Arques Pardo, E.M., Pérez-Pastor, Alejandro.
A-36-2020 P	RESPUESTA PRODUCTIVA DE UN CULTIVO DE SANDÍA EN INVERNADERO CON USO DE AGUA DESALADA FRENTE AL AGUA DE POZO. Por, Marín Membrive, P., Valera Martínez, D.L., <u>Reca Cardaña, J. (P)</u> ; Moreno Teruel, M.A., Peña Fernández, A.A., Martínez López, J.
A-39-2020	RESPUESTA FISIOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE MANDARINA CV. ‘CLEMENVILLA’ A LA SUPRESIÓN DEL RIEGO DURANTE EL CRECIMIENTO DEL FRUTO. Por, <u>Temnani, Abdelmalek (P)</u> ; Berríos, Pablo; Pérez, David; Gil, Ismael; Forcén, Manuel; Zapata, Susana; Pérez-Pastor, Alejandro.
A-40-2020 OyP	AGUA Y RIEGO ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO. ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN. Por, <u>Goñi Labat M.(P)</u>

B) INGENIERÍA Y GESTIÓN DE REGADÍOS

Nº	TÍTULO DEL TRABAJO
B-01-2020	BANCO PÚBLICO DE AGUA PARA RECUPERAR AGUA PARA EL MEDIOAMBIENTE EN SITUACIÓN DE SEQUÍA EN CONTEXTO DE MONOPOLIO-MONOPSONIO. Por, Montilla-López, N.M., Gómez-Limón, J.A.(P), Gutiérrez-Martín, C.
B-03-2020	BALANCE DE CARBONO DE LAS ZONAS REGABLES DEL TRASVASE TAJO-SEGURA. Por, <u>Martin-Gorritz, B.(P)</u> , Gallego-Elvira, B., Martínez-Álvarez, V., Maestre-Valero J.F.
B-07-2020 P	INCORPORACIÓN DE PREDICCIONES CLIMÁTICAS Y MEDIDAS DE SENSORES DE HUMEDAD DE SUELO EN EL RIEGO DE PRECISIÓN. Por, <u>Flores Cayuela, C. (P)</u> , Camacho Poyato, E., Montesinos Barrios, P.
B-08-2020	CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DE LA ELIMINACIÓN DE BORO EN EL AGUA MARINA DESALINIZADA PARA SU USO AGRÍCOLA. Por, <u>Maestre-Valero J.F. (P)</u> , Jódar-Conesa, F.J., Acosta-Avilés, J.A., Martin-Gorritz, B., Riquelme-Caballero, J.C., Molina del Toro, R., Martínez-Álvarez, V.
B-09-2020 P	COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN FILTRO DE ARENA CON BRAZOS COLECTORES PARA INSTALACIONES DE RIEGO POR GOTEO. Por, Pujol, T., Puig-Bargués, J., <u>Arbat, G.(P)</u> , Duran-Ros, M., Solé-Torres, C., Pujol, J., Ramírez de Cartagena, F.
B-10-2020	AJUSTE DEL CÁLCULO DE LAS DOTACIONES DE LOS HIDRANTES A LA GEOMETRÍA DE LAS PARCELAS. Por, <u>Goicoechea Iriarte, F. (P)</u> , Ederra Gil, I., Puig Arrastia, J., Campo-Bescós, M.A., Pérez Garcíandia, D., Javiera Cirauqui Lacarra.
B-13-2020	METODOLOGÍA PARA MINIMIZAR LOS TIEMPOS DE LLEGADA EN UNA RED DE RIEGO A PRESIÓN. Por, <u>Jiménez Bello, M.A. (P)</u> , Manzano-Juárez, J., Alonso Campos, J.C., Martínez Alzamora, F.
B-14-2020	EL VISOR GEOGRÁFICO DE INFORIEGO, UNA HERRAMIENTA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES (HATD) DE LOS REGANTES EN CASTILLA Y LEÓN. Por, <u>Antolín Martínez, Francisco Javier (P)</u> , Mínguez González, Celia
B-17-2020	ANÁLISIS DE UNA BOMBA TRABAJANDO COMO TURBINA PARA LA RECUPERACIÓN DE ENERGÍA EN UNA RED DE RIEGO DE LA C.R. PICASSENT (SECTOR IV). Por, <u>Alberto Gómez Bonastre (P)</u> , Carmen Virginia Palau Estevan, Iban Balbastre Peralta
B-18-2020 P	EL PROBLEMA DE LOS RESIDUOS FLOTANTES EN LA VEGA BAJA DEL SEGURA. UN ANÁLISIS DE LOS ACTORES DEL TERRITORIO. Por, <u>Brugarolas, M.(P)</u> , Martínez-Carrasco, L., Rocamora, C., Puerto, H., Abadía, R., Cordero, J.

C) BALSAS DE RIEGO

Nº	TITULO DEL TRABAJO
C-01-2020	EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE COBERTURAS FLOTANTES MODULARES EN BALSAS DE RIEGO. Por, <u>Martínez-Alvarez, V.(P)</u> , Martín-Górriz, B., Maestre-Valero J.F., Gimeno Martínez, J.M., Navarro Fernández F.J.
C-02-2020	TRATAMIENTO ECOLÓGICO PARA LA EUTROFIZACIÓN Y LA ANOXIA EN LAS BALSAS DE RIEGO. Por, Mateos-Aparici Baixauli (P), Ricardo.
C-05-2020	BALSA DEL TRASVASE ESLA-CARRIÓN. SU IMPORTANCIA EN EL DESARROLLO RURAL REGIONAL Y UN EJEMPLO DE REGULACIÓN DE RECURSOS Y COLABORACIÓN ENTRE LA ADMINISTRACIÓN Y LAS COMUNIDADES DE REGANTES. Por, Muñoz Gomez, C. Gregorio Arroyo, J.T., <u>Saez Gonzalez, R.(P)</u>

TRABAJOS PRESENTADOS AL FORO EMPRESARIAL DE INNOVACIÓN JORNADA VIRTUAL DE RIEGOS, 23-9-2020 COMERCIALES

Nº	TITULO DEL TRABAJO
FEI-01-2020	TUBERÍAS RESISTENTES A LOS DESEQUILIBRIOS QUÍMICOS DEL AGUA. PVC ORIENTADO DURABILIDAD Y EFICIENCIA EN REDES DE TRANSPORTE EN DESALACIÓN. CASO CR. CUEVAS DEL ALMANZORA. Por, <u>Marcos Rincón Benito (P)</u> , de MOLECOR TECNOLOGÍA, S.L., y Jorge Muñoz, de TALLERES Y GRUAS GONZÁLEZ
FEI-02-2020	MÉTODO LIMPIABALSAS® PARA EXTRACCIÓN DE SEDIMENTOS EN BALSAS DE AGUA BRUTA. Por, <u>Jesús Guillén Torres (P)</u> de Asociación Española de Dirección e Ingeniería de Proyectos. LIMPIABALSAS, S.L.
FEI-03-2020 P	LIBRO BLANCO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS BALSAS DE AGUA BRUTA, ¿CUÁNDO?. Por, <u>Guillen Torres J.(P)</u> , Campo Buetas F., Campo Paul A., Carmen Garcés D. de LIMPIABALSAS, S.L.
FEI-04-2020	INNOVACION: PERFIL DE ACERO PARA DOBLE JUNTA ELÁSTICA CON VÁLVULA DE COMPROBACIÓN EN TUBERÍA DE HORMIGÓN CON CAMISA DE CHAPA DE GRAN DIÁMETRO. Por, <u>Juan Pablo Guerrero Pasquau (P)</u> de PREFABRICADOS DELTA, S.A.
FEI-05-2020	CORENET- COREGEST: SERVICIOS Y SISTEMAS PARA TRANSFORMACION DIGITAL DE LAS COMUNIDADES DE REGANTES. Por <u>Mª Gabriela Díaz Hernández (P)</u> de SERINA, Servicios de Ingeniería y Arquitectura S.L.
FEI-06-2020	FILTRACION CON ELEMENTOS PLISADOS AQUABOLL®. Por, FILTRACION CON ELEMENTOS PLISADOS AQUABOLL®. Por, Thomas Roeckelein y <u>Joaquin Lalueza (P)</u> de BOLLFILTER ESPAÑA, S.L.U.

**AUTORES - 38º CNR CRTG-20 PI/JORNADA
VIRTUAL**

**TRABAJO (presenta: (P); cartel: ●; cartel y
oral: +)**

ABADÍA SÁNCHEZ, Ricardo	B-18-2020
ACOSTA AVILÉS, José Alberto	A-28-2020●, B-08-2020
ALARCÓN CABAÑERO, Juan José	A-25-2020
ALONSO CAMPOS, Joan Carles	B-13-2020
ANTOLÍN MARTÍNEZ, Francisco Javier	B-14-2020 (P)
ANTOLINOS LÓPEZ, Vera	A-08-2020●, A-28-2020●
ARBAT PUJOLRAS, Gerard	A-16-2020 (P), B-09-2020● (P)
ARQUÉS PARDO, Eva María	A-28-2020●, A-30-2020●, A-31-2020●, A-34-2020
BADAL MARÍN, Eduardo	A-21-2020●, A-27-2020●
BALBASTRE PERALTA, Iban	A-21-2020●, B-17-2020
BARTHOLOMEUS, Harm	A-25-2020
BERRÍOS REYES, Pablo Alejandro	A-31-2020●, A-34-2020 (P), A-39-2020
BLANCO MONTOYA, Víctor	A-32-2020, A-33-2020●
BLAYA ROS, Pedro José	A-32-2020 (P), A-33-2020●
BOESVELD, Harm	A-25-2020
BONET PÉREZ DE LEÓN, Luis	A-21-2020●, A-27-2020●
BOTÍA ORDAZ, PABLO	A-28-2020●, A-30-2020●, A-31-2020● (P), A-34-2020
BRUGAROLAS MOLLA-BAUZA, Margarita	B-18-2020 (P)
CAMACHO POYATO, Emilio	B-07-2020●
CAMPO BESCÓS, Miguel Ángel	B-10-2020
CAMPO BUETAS, Francisco	FIE-03-2020● (P)
CAMPO PAUL, Antonio	FIE-03-2020●
CANCELA BARRIO, Javier José	A-22-2020
CARMEN GARCÉS, Daniel	FIE-03-2020●
CIRAUQUÍ LACARRA, Mª Javiera	B-10-2020
CONEJERO PUENTE, Wenceslao	A-09-2020, A-17-2020
CONESA SAURA, Mª Rosario	A-09-2020
CORDERO GARCÍA, José	B-18-2020
CUFÍ, Silvia	A-16-2020
DÍAZ HERNÁNDEZ, Mª Gabriela	FEI-05-2020 (P)
DOMINGO MIGUEL, Rafael	A-32-2020, A-33-2020● (P)
DURÁN ROS, Miquel	A-16-2020, B-09-2020●
EDERRA GIL, Idoia	B-10-2020
FANDIÑO BEIRO, María	A-22-2020
FERNÁNDEZ-CABALLERO FARIÑAS, María Dolores	A-27-2020●
FLORES CAYUELA, Carmen María	B-07-2020● (P)
FORCÉN MUÑOZ, Manuel	A-34-2020, A-39-2020
GALLEGO ELVIRA, Belén	A-08-2020●, B-03-2020
GIL FERNÁNDEZ, Ismael	A-31-2020●, A-34-2020, A-39-2020
GIMENO MARTÍNEZ, José Miguel	C-01-2020
GOICOECHEA IRIARTE, Fermín	B-10-2020 (P)
GÓMEZ BONASTRE, Alberto	B-17-2020 (P)
GÓMEZ-LIMÓN RODRÍGUEZ, José Antonio	B-01-2020 (P)
GONZÁLEZ TERUEL, Juan Domingo	A-32-2020, A-33-2020●
GONZÁLEZ VÁZQUEZ, Xesus Pablo	A-22-2020
GOÑI LABAT, Marta	A-40-2020+ (P)

GREGORIO ARROYO, Javier T.	C-05-2020
GUERRERO PASQUAU, Juan Pablo	FEI-04-2020 (P)
GUILLÉN TORRES, Jesús	FIE-02-2020 (P), FIE-03-2020●
GUTIÉRREZ MARTÍN, Carlos	B-01-2020
HERNÁNDEZ BALLESTER, Francisco Miguel	A-28-2020●, A-30-2020●, A-31-2020●, A-34-2020
HUETE CUEVAS, Joaquín	A-26-2020 (P)
JIMÉNEZ BELLO, Miguel Ángel	B-13-2020 (P)
JIMÉNEZ BUENDÍA, Manuel	A-32-2020, A-33-2020●
JÓDAR CONESA, Francisco José	A-28-2020●, B-08-2020
LALUEZA SALINAS, Joaquín	FEI-06-2020 (P)
LIDÓN CEREZUELA, Antonio Luis	A-21-2020●
LLOBET ESCABIAS, Marina	A-25-2020
LÓPEZ GÓMEZ, Antonio	A-08-2020●
MAESTRE VALERO, José Francisco	A-08-2020 (P)●, A-20-2020●, A-28-2020●, B-03-2020, B-08-2020 (P), C-01-2020
MANZANO JUÁREZ, Juan	A-21-2020● (P), A-27-2020● (P), B-13-2020
MARÍN MEMBRIVE, Patricia	A-08-2020●, A-20-2020● (P), A-36-2020●
MARTÍN GORRIZ, Bernardo	B-03-2020 (P), B-08-2020, C-01-2020
MARTÍNEZ ÁLVAREZ, Victoriano	A-28-2020●, B-03-2020, B-08-2020, C-01-2020 (P)
MARTÍNEZ ALZAMORA, Fernando	B-13-2020
MARTÍNEZ CARRASCO, Laura	B-18-2020
MARTÍNEZ GIMENO, María Amparo	A-21-2020●, A-27-2020●
MARTÍNEZ HERNÁNDEZ, Ginés Benito	A-08-2020●
MARTÍNEZ IZQUIERDO, Ana Verónica	A-30-2020●, A-31-2020●
MARTÍNEZ LÓPEZ, Juan	A-36-2020●
MATEOS-APARICI BAIXAULI, Ricardo	C-02-2020 (P)
MIÍNGUEZ GONZÁLEZ, Celia	B-14-2020 (P)
MIRA GARCÍA, Ana Belén	A-17-2020 (P)
MOLINA DEL TORO, Ruben	B-08-2020
MOLINA MORAL, Juan Carlos	A-01-2020 (P)
MONTESINOS BARRIOS, Pilar	B-07-2020●
MONTILLA LÓPEZ, Nazaret M.	B-01-2020
MORENO TERUEL, Mª de los Ángeles	A-20-2020●, A-36-2020●
MUÑOZ GÓMEZ, Carolina	C-05-2020
MUÑOZ, Jorge	FIE-01-2020
NAVARRO ACOSTA, Josefa Mª	A-28-2020● (P), A-30-2020●, A-31-2020●, A-34-2020
NAVARRO FERNÁNDEZ, Francisco Javier	C-01-2020
OLIVARES QUÍLEZ, Leandro	A-28-2020●, A-30-2020●, A-31-2020●
OMAHNA ÁLVAREZ, José Manuel	A-26-2020
PALAU ESTEVAN, Carmen Virginia	B-17-2020
PALAZÓN LÓPEZ, Juan Antonio	A-30-2020●, A-31-2020●
PEDRERO SALCEDO, Francisco	A-25-2020
PEÑA FERNÁNDEZ, Ana Araceli.	A-36-2020●
PÉREZ GARCIAÑDÍA, Daniel	B-10-2020
PÉREZ LATORRE, Francisco José	A-01-2020
PÉREZ NOGUERA, David	A-34-2020, A-39-2020
PÉREZ PASTOR, Alejandro	A-31-2020●, A-34-2020, A-39-2020
PÉREZ PÉREZ, Juan Gabriel	A-28-2020●, A-30-2020●
PINSACH BOADA, Jaume	A-16-2020
PRIETO RAPOSO, Cristina	A-16-2020

PUERTO MOLINA, Herminia	B-18-2020
PUIG ARRASTIA, Joaquín	B-10-2020
PUIG BARGUÉS, Jaume	A-16-2020, B-09-2020●
PUJOL PLANELLA, Joan	A-16-2020, B-09-2020●
PUJOL SAGARÓ, Toni	B-09-2020●
QUIJANO GONZÁLEZ, Antonio	A-26-2020
RAMÍREZ DE CARTAGENA BISBE, Francisco	A-16-2020, B-09-2020●
RECA CARDEÑA, Juan	A-20-2020●, A-36-2020● (P)
RINCÓN BENITO, Marcos	FIE-01-2020 (P)
RIQUELME CABALLERO, Juan Carlos	B-08-2020
ROBLES GARCÍA, Juan Miguel	A-28-2020●, A-30-2020● (P), A-31-2020●
ROCAMORA OSORIO, Carmen	B-18-2020
RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, Marta	A-22-2020 (P)
ROECKELEIN, Thomas	FEI-06-2020
ROMERO AZORÍN, Pascual	A-31-2020●
RUIZ SÁNCHEZ, M ^a Carmen	A-09-2020 (P), A-17-2020
SÁEZ GONZÁLEZ, Rafael	C-05-2020 (P)
SÁNCHEZ MARTÍNEZ, Maria José	A-08-2020●
SOLE TORRES, Carles	B-09-2020●
SOTO VALLÉS, Fulgencio	A-32-2020, A-33-2020●
TEMNANI RAJJAF, Abdelmalek	A-33-2020●, A-34-2020, A-39-2020 (P)
TOBAR PARDO, Vanessa	A-26-2020
TOLEDO MOREO, Ana Belén	A-32-2020, A-33-2020●
TORRES SÁNCHEZ, Roque	A-32-2020, A-33-2020●
URRESTARAZU GAVILÁN, Miguel	A-20-2020●
VALERA MARTÍNEZ, Diego Luis	A-20-2020●, A-36-2020●
VERA MUÑOZ, Juan	A-09-2020, A-17-2020
ZAPATA, Susana	A-34-2020, A-39-2020

GRUPO TEMAS A:

Investigación, desarrollo e innovación en riego y drenaje

Agrohidrología. Hidrología del riego: Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. Necesidades hídricas de los cultivos. Balance de agua. Coeficientes de cultivo. Estrategias de riego en áreas con escasez de agua. Respuesta de los cultivos a riegos deficitarios. Nuevos métodos y tecnologías de medición del agua de riego, herramientas de cálculo y modelos de simulación.

Salinidad, Drenaje, Efectos Ambientales y Agua de riego: Adecuación de las características del suelo al método de riego. Efecto del clima y de su posible cambio en las prácticas e infraestructuras de riego. Impacto del regadío y drenaje en el entorno natural. Las prácticas de riego y sus efectos sobre la mejora de la capacidad de reserva de agua en el suelo. Lixiviación de sales y otros elementos. Recuperación de suelos salinos.

Calidad del agua de riego (sales, contaminantes): Escasez de agua de buena calidad. Aprovechamiento de aguas subterráneas para riego. Utilización para el riego de aguas depuradas, regeneradas o desalinizadas. Efecto de estas aguas sobre el suelo, cultivos y acuíferos. Riesgos de la utilización de aguas residuales regeneradas en los seres vivos.

A-01-2020

LAS FUENTES DE INFORMACIÓN EN AGRICULTURA DE REGADÍO. ESTUDIO Y EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE DE OLIVAR DE RIEGO EN ANDALUCÍA. COMPARACIÓN CON LA PROVINCIA DE JAÉN

Molina Moral, Juan Carlos (1) (P). Pérez Latorre, Francisco José. (2).

Campus Científico Tecnológico Linares, Universidad de Jaén. Cinturón Sur s/n 23700 Linares.

¹ Investigador, Universidad de Jaén. E-mail: jcmm0011@red.ujaen.es

² Profesor, Área Mecánica de Fluidos, Universidad de Jaén. E-mail: fjperez@ujaen.es

Resumen.

Conocer y determinar con la mayor precisión posible la superficie de riego de los cultivos, es un punto de partida necesario para posteriores estudios de caracterización de las instalaciones desde la perspectiva de análisis hídrico y energético. Es necesario también tener en cuenta otros aspectos como el origen de las aguas utilizadas, superficie regada, sistema de riego empleado, desniveles existentes, número de estructuras de almacenamiento/regulación, características de las redes de riego, número y potencia de los sistemas de bombeo, etc. Disponer de esta información se hace más interesante ante la posible transformación del modo de cultivo con la adopción de los sistemas intensivos, o en la aplicabilidad de estrategias de riego deficitario en grandes regiones. La consulta de diferentes Organismos Públicos pone de relieve, de forma habitual, que éstos presenten criterios distintos y utilizan metodologías diferentes para determinar la superficie de riego, dificultando la comparación de la información obtenida, de modo que en la mayoría de las ocasiones los resultados no son coincidentes. A ésta situación se podría añadir la discrecionalidad con la que se publican dichos datos. Las distintas metodologías de recogida y tratamiento de los datos, así como las fuentes principales de los mismos, son abordadas en el presente trabajo.

“Abstract”.

Know and determine with the major possible precision the crops irrigation surface is a necessary starting point for further research studies of characterization of the facilities from the perspective of water and energetic analysis. It is also necessary to take into account other aspects such as the origin of the used waters, watered irrigation, system of irrigation, differences in levels, number of structures of storage/regulation, characteristics of irrigation networks, number and power of the systems of pumping systems,..., etc. Having this information becomes more interesting in view of the possible transformation of the cultivation mode with the adoption of intensive systems, or in the applicability of deficit irrigation strategies in large regions. The consultation of different Public Organizations shows, in a habitual way, that they present different criteria and use a different methodology to determine the surface of irrigation, making difficult the comparison of the obtained information, so that in most of the occasions the results they are not coincidental. To this situation could be added the discretion with which data are published. The different methodologies of data collection and treatment, as well as the main sources thereof, are exposed in the present work, with the objective of determining the irrigation surface of olive groves at Andalusia, and particularly at Jaén's province, for further studies from the optics of water and energy efficiency.

1) Introducción

En la actualidad, en España a consecuencia de un profundo cambio estructural y determinados condicionantes ocurridos desde los primeros años del siglo pasado han originado que hoy en día tan solo el 3% de su población figure como agricultora, y a pesar de ello es uno de los países que mayor porcentaje de su territorio utiliza para uso agrícola y el medio rural, representando el 90% del territorio y el 20% de la población, (*Robledo R, 2011*). Así en el siglo XX se ha pasado de tener poco más de un millón de hectáreas transformadas en riego a las aproximadamente 3.488.000 has existentes en la actualidad. Esta cifra, que supone el 18,3% de la superficie total de cultivo y el 13% de la Superficie Agraria Útil (SAU), produciendo del 55% al 60% de la Producción Final Agraria (PFA), (Plan Nacional de Regadíos). Además, aproximadamente la mitad de la población activa agraria depende del regadío (*Berbel J., 2007*).

Hoy día, las estadísticas agrarias, aun siendo realizadas por el Ministerio, están integradas en los Planes Estadísticos Nacionales, (PEN), que tienen una vigencia de 4 años, y que se enmarcan dentro del PEN 2017-2020, y coordinadas con el INE (Instituto Nacional de Estadística) y su homólogo autonómico IEA, (Instituto de Estadística de Andalucía) cristalizando en la publicación de los Anuarios de Estadística Agraria, de carácter anual, desde inicios del siglo pasado, con algunos paréntesis.

A nivel autonómico, la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, elaboró y publicó en tres ocasiones; 1997, 2002 y 2008 el ICRA, "*Inventario y Caracterización de los Regadíos de Andalucía*", que tuvo vigencia durante el período 1996-2008, empleando como fuente de datos además de las previamente citadas, la realización de encuestas y entrevistas directas a las entidades vinculadas con la agricultura de regadío y técnicas cartográficas. Además ha venido estableciendo la planificación y asignación de recursos al regadío, y concretamente al sector del olivar, (*CAP, 2011-2014-2019*)

Por otra parte, la Directiva 2000/60/CE, de 23 de octubre del Parlamento Europeo y del Consejo, denominada como Directiva Marco del Agua, estableció la realización de Planes Hidrológicos de Cuenca por los organismos de cuenca, denominados como Confederaciones Hidrográficas, que se revisan y actualizan cada seis años, si bien antes de esta disposición europea ya se realizaban en España desde 1998, en virtud de la Ley de Aguas, (Ley 29/1985, de 2 de agosto). Hasta el momento han habido tres ciclos: 2009-2015, 2015-2021, (actualmente vigente), y el futuro 2021-2027, (*CHG, 2009-2015-2019*). Esta actuación tuvo como punto de partida el informe final sobre la superficie de los cultivos de regadío y sus necesidades para el riego en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir, (*CHG, 2005*).

Las cuencas y ríos que discurren por Andalucía se enmarcan en seis distritos hidrográficos distintos: tres intracomunitarios (Guadalete-Barbate, Odiel-Piedras, y Cuencas Mediterráneas Andaluzas; y tres intercomunitarios, (Guadalquivir, Segura y Guadiana), fijadas por el Real Decreto 125/2007, de 2 de febrero. En el caso particular de la provincia de Jaén, ésta queda afectada por dos cuencas, la del Guadalquivir y la del Segura. La cuenca hidrográfica del Guadalquivir en la provincia de Jaén ocupa casi la totalidad de la extensión de la misma con 12.892 km², y la cuenca hidrográfica del Segura cuenta con 594 km², aproximadamente.

Los organismos de cuenca registran los datos de superficies, tanto de solicitudes como de concesiones, ya sean públicas o privadas, diferenciando las otorgadas, denegadas o en proceso de resolución, en su ámbito territorial.

Finalmente, con carácter discrecional y puntual encontramos algunos trabajos realizados por entidades u organismos públicos o privados, y autores reconocidos que utilizan diferente metodología tanto en la adquisición como en el tratamiento de la información en atención a los objetivos que persiguen, y presentación de sus resultados. Un ejemplo de ello es el observatorio Económico de la provincia, entidad pública perteneciente al ámbito de la Diputación Provincial de Jaén, que abordó un estudio del olivar de riego durante el período 1985-1998, y posteriormente realizó un estudio-dictamen sobre la rentabilidad económica de las explotaciones de olivar en la provincia en 2011, (CES. 2011).

2) Objetivos

El objetivo fundamental del presente Trabajo es determinar la superficie de riego de olivar en Andalucía, y particularmente en la provincia de Jaén, para su posterior estudio desde la óptica de la eficiencia hídrica y energética.

3) Materiales y Métodos

Para la obtención de los datos de partida se han consultado los siguientes organismos y administraciones:

Anuarios de Estadística Agraria, (AEA).

Los anuarios de estadística agraria no recogen aspectos tales como el origen de las aguas o tipología de riego, pero a nivel general si vienen informando de modo anual, de la superficie de riego y secano a nivel provincial. Inicialmente la recogida de datos se realizaba en base a los aforos de campo, prospecciones a entidades representativas y/o encuestas directas. En la actualidad, los datos se recogen de la información administrativa derivada de las declaraciones de los solicitantes de ayudas por superficies, así como el SIGPAC, (Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas). Para ello, tiene en consideración como parcelas de riego como aquellas que son declaradas por los propios agricultores. Los datos son recogidos por el Ministerio de Agricultura (MAGRAMA), y las Delegaciones Provinciales de Agricultura de cada provincia.

A partir de 1999 aplican un cambio de la metodología volviendo a sus inicios y aportando datos sobre el número de árboles diseminados, además de otros relativos al rendimiento.

Organismos de cuenca, (CHG, CHS).

Los organismos de cuenca básicamente realizan el recuento de solicitudes, concesiones y actas de notoriedad, refiriendo sus datos a cuencas y distritos hidrográficos, utilizando criterios que distinguen entre olivar tradicional e intensivo, pero no permiten discernir a nivel municipal o provincial la información ofrecida ni tampoco la superficie de riego de las parcelas que estén pendientes de los trámites de concesión, o bien que tengan concedidos riegos deficitarios o riegos de emergencia.

Para la determinación de que una superficie se encuentre o no en regadío establecen tres procedimientos; en primer lugar la declaración/solicitud de su propietario o titular; en segundo lugar porque se hayan detectado infraestructuras para el riego y/o cultivos o zonas regadas, (utilizando para ello la cartografía existente empleando técnicas de fotointerpretación y teledetección; y finalmente, en tercer lugar, por la inspección que se realice para verificar la situación declarada o detectada, lo cual pone de relieve cierto grado de incertidumbre y de la complejidad de la situación.

Instituto Nacional de Estadística (INE) e Instituto de Estadística de Andalucía (IEA).

Aporta datos a nivel provincial, comarcal y por cuencas hidrográficas, diferenciando el origen del agua de riego utilizada. El INE toma como fuente de datos los suministrados por el Ministerio de Agricultura, principalmente los Censos Agrarios, (el último se realizó en 2009), y las encuestas sobre la estructura de las explotaciones agrícolas, (de carácter anual). El IEA realiza las mismas labores que el INE a nivel autonómico, siguiendo las directrices de los Planes Estadísticos Nacionales.

Inventario y Caracterización de los Regadíos de Andalucía, (ICRA).

El ICRA realizado por la administración autonómica, (Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía), supuso un esfuerzo de la administración andaluza por realizar un sistema información territorial del regadío aproximado a la realidad que sirviera de base a su planificación. Se realizaron tres publicaciones; 1997, 2002, y 2008. Posteriormente publicó el informe "*Inventario de Regadíos 2008 y su evolución en la última década*", (CAP, 2011).

En el primer inventario del ICRA (1997) la unidad mínima de información era la Zona de Riego, (Z.R.), cuya delimitación se basaba en la información disponible (recintos SIGPAC de riego) y su intersección con los límites municipales e hidrológicos tras un trabajo de campo consistente en la elaboración de cuestionarios específicos para los diversos grupos de usuarios: Comunidades de Regantes, regantes singulares, técnicos, funcionarios de diversas Administraciones, Ayuntamientos y Cámaras Agrarias (hoy desaparecidas), y la posterior cartografía de las zonas de riego, completándolas y contrastándolas con diversas fuentes estadísticas. De esta manera se creó una cobertura denominada "Sistemas de Explotación de Recursos Hídricos", (SER), que no coincidía ni con la delimitada en el Plan Hidrológico de Cuenca, ni con la del organismo de cuenca, (CHG), por lo que hubo que contrastarla y ajustarla. La posible razón de este hecho es que los recintos SIGPAC definidos como regables podían presentar tres orígenes distintos; en primer lugar las propias declaraciones de los agricultores al solicitar éstos las ayudas comunitarias con carácter anual; en segundo lugar por la identificación y fotointerpretación de infraestructuras de riego en las parcelas; y finalmente, en tercer lugar, por las parcelas declaradas como de riego en base al catastro de rústica. En el primer caso, como en el olivar las ayudas no están vinculadas al secano o regadío, la fiabilidad de los datos aportados por los agricultores depende de su propia actitud.

En su última revisión de 2008, se definieron las Unidades de Agregación de Recintos, (U.A.), y las Zonas Homogéneas de Riego, (Z.H.R.). Las primeras estarían constituidas por Comunidades de Regantes o regantes individuales mayores de 200 has, y las segundas serían las restantes, teniendo en cuenta criterios de proximidad geográfica y homogeneidad de los regadíos, desglosando los datos por comarcas agrícolas.

Observatorio económico de la provincia de Jaén, (CES).

La primera publicación relativa al olivar la realizó este organismo en 1998 (*Consejo Económico y Social de la Provincia de Jaén, 1997*), en base a los datos de los Anuarios de Estadística Agraria en los periodos 1985-86 y 1997-98. Posteriormente, en 2011, realizó una segunda publicación denominada "*Dictamen sobre el Análisis de la rentabilidad económica de las explotaciones de olivar en la provincia de Jaén*", usando la misma base de información y determinaciones propias, elaborando un desglose por comarcas agrícolas y distintas tipologías o categorías agronómicas de olivar, en base a la publicación "*El Olivar Andaluz*", (CAP, 2002). No existe otra publicación análoga en las restantes provincias de Andalucía.

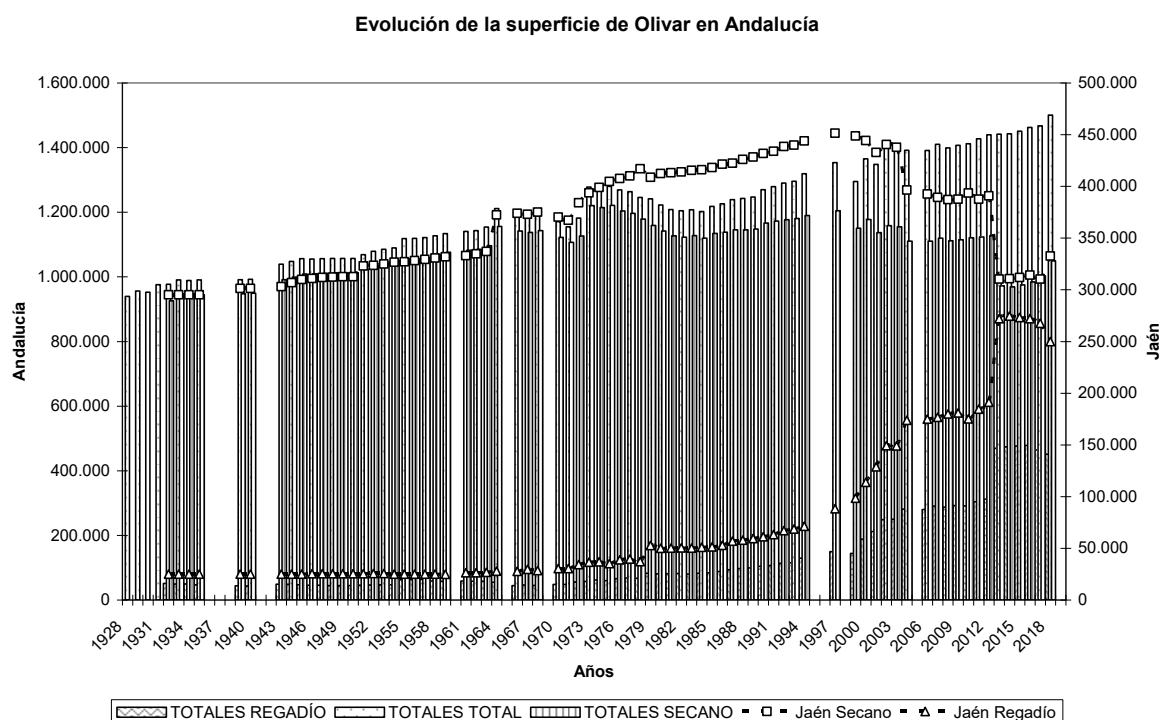
4) Resultados y Discusión

Anuarios de Estadística Agraria, (AEA).

Los Anuarios de Estadística Agraria son la fuente de información más completa proporcionándonos datos, generalmente, con periodicidad anual. En la figura 1 se ha representado la evolución de la superficie de riego de olivar en Andalucía y en la provincia de Jaén durante el periodo de tiempo 1928-2019. Al analizarla se observa que a grandes rasgos la superficie total de olivar en Andalucía ha ido expandiéndose paulatinamente, así como el aumento de la superficie de riego en este cultivo encontrándose respecto de ésta última tres momentos clave; la década de los 80, la primera década del segundo milenio, y finalmente a partir del año 2014, aunque en la actualidad la tendencia es a disminuir ligeramente.

Respecto de la provincia de Jaén, la primera expansión del olivar de regadío en la provincia tuvo lugar durante el periodo 1972-1998, mostrando una tendencia ascendente moderada, sin embargo, es durante la década correspondiente al periodo 1995-2005 cuando la expansión de la superficie de riego muestra una tendencia más acusada. Finalmente, la subida desde 2012 no se debe a una expansión del cultivo, sino que es consecuencia un cambio en la metodología por parte de la Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía al incorporar los datos del ICRA, los recintos SIGPAC y modificar su metodología.

Figura 1: Evolución de la superficie de riego de olivar.



Fuente: AEA, Anuarios de Estadística Agraria y Delegación Provincial de Jaén, (1904-2019).

En un análisis de mayor detalle se ha tabulado la evolución del olivar en periodos quinquenales durante los últimos cuarenta años, diferenciando los datos de superficie total, seco y regadío (tablas 1 y 2). De este modo se pueden destacar incrementos muy acusados en el periodo 1995-2000 (de más del 41%) y en el 2009-2012 (de más del 36%).

El continuo crecimiento se ha visto favorecido por el establecimiento de ayudas a la producción, y la ampliación favorable del mercado del aceite de oliva, así como ayudas específicas a la mejora de regadíos. También podemos destacar la relación entre olivar total y el de regadío, manteniéndose en valores próximos al 10 % en el principio de la década de los años 90 del siglo pasado, y actualmente superando el 40%.

Tabla 1:. Superficies de secano y regadío a nivel autonómico, por periodos de cinco años.

<i>Superficies medias de olivar en Andalucía.</i>				
Periodo	Secano, (has)	Regadío (has)	Total (has)	Sup. Regadío/Total %
1976-1980	1.175.912	72.627	1.248.539	5,82%
1981- 1985	1.126.196	81.937	1.208.133	6,78%
1986- 1990	1.148.618	96.361	1.244.978	7,74%
1991-1995	1.179.799	115.929	1.295.728	8,95%
1996-2000	1.177.311	160.466	1.337.777	11,99%
2001-2005	1.140.051	247.666	1.387.717	17,85%
2006-2010	1.115.484	288.157	1.403.641	20,53%
2011-2015	1.033.373	406.911	1.440.284	28,25%
2016-2019	1.012.294	464.237	1.476.531	31,44%

Fuente: AEA, Anuarios de Estadística Agraria, (1976-2019).

Tabla 2:. Superficies de secano y regadío a nivel provincial, por periodos de cinco años.

<i>Superficies medias de olivar en la provincia de Jaén.</i>				
Periodo	Secano, (has)	Regadío (has)	Total (has)	Sup. Regadío/Total %
1976-1980	411.089	43.659	454.748	9,60%
1981- 1985	415.310	50.634	465.944	10,87%
1986- 1990	425.917	57.625	483.542	11,92%
1991-1995	439.012	67.540	506.552	13,33%
1996-2000	448.092	100.178	548.271	18,27%
2001-2005	426.822	150.149	576.971	26,02%
2006-2010	390.051	177.560	567.612	31,28%
2011-2015	342.225	239.097	581.321	41,13%
2016-2019	318.973	263.109	582.082	45,20%

Fuente: AEA, Anuarios de Estadística Agraria, (1976-2019).

Organismos de Cuenca, (CHG, CHS).

Realizan escasas publicaciones, discrecionales, y desglosadas según parámetros hidrológicos, sin divisiones administrativas, con datos aislados y desagregados sin conexión ni continuidad temporal, (tabla 3).

Tabla 3: Superficies de regadío a nivel autonómico según organismos de cuenca en Andalucía.

	CHG	CHCMA	CHGA	CHGB	CHS	CHTOP
1999			20.936			
2004	292.818					
2005					17.718	
2008		25.346				
2009	409.808		27.930			
2015	440.097					82
2019				77		

Fuente: Elaboración propia a partir de Planes Hidrológicos de Cuenca vigentes.

En cuanto a la superficie de riego en las tablas 4 y 5 se pueden apreciar los datos correspondientes al año 2017, pudiéndose distinguir olivar tradicional y olivar intensivo y a la superficie regada cuando el olivar se asocia con otro cultivo.

Tabla 4: Superficie regada y regable de olivar en Jaén.

	SUPERFICIE REGADA (has)	SUPERFICIE REGADA OLIVAR Y OTROS MÁS (has)	SUPERFICIE REGABLE (has)
Olivar	231.611,64	239.352,79	240.027,94
Olivar intensivo	31.870,16	46.413,46	48.970,83
TOTAL	263.481,80	285.766,25	288.998,77

Fuente: CHG, Organismo de cuenca, 2018. . (Datos de 2017).

Tabla 5: Tipología de olivar en función del origen del agua en Jaén.

Olivar tradicional			
Nº de concesiones	Origen del Agua	Sup. Regada (has)	Sup. Regable (has)
178	AGUAS SUBTERRÁNEAS	121.664,95	121.967,29
188	AGUAS SUPERFICIALES	103.501,41	103.794,03
7	ESCORRENTÍA	987,61	987,61
21	AGUAS REUTILIZADAS (EDAR)	13.198,82	13.279,01
394		239.352,79	240.027,94
Olivar intensivo			
Nº de concesiones	Origen del Agua	Sup. Regada (has)	Sup. Regable (has)
6	AGUAS SUBTERRÁNEAS	3.886,27	3.886,27
49	AGUAS SUPERFICIALES	42.527,19	45.084,56
0	ESCORRENTÍA	0	0,00
0	AGUAS REUTILIZADAS (EDAR)	0	0,00
55		46.413,46	48.970,83
449		285.766,25	288.998,77

Fuente: CHG, organismo de cuenca, 2018. (Datos de 2017).

Los datos ofrecidos ponen de relieve que la variación final entre la superficie regada y regable es de 25.516,97 has. En cambio, si se considera la la superficie de olivar con otros cultivos asociados la diferencia se reduce a 3.232,52 has. Si distinguimos entre superficie regable y regada de olivar con otros cultivos tenemos una diferencia de 675,15 has para el olivar tradicional y 2.557,37 has en olivar intensivo.

Respecto de las concesiones otorgadas observamos que el olivar tradicional supone el 46,74% y el olivar intensivo el 53,26% respecto del total.

En relación al origen del agua tenemos que el empleo de aguas de escorrentía y residuales solo se utiliza en olivar tradicional, en el que por otra parte la utilización de aguas subterráneas y superficiales también se encuentra próxima al 50%. En cambio el olivar intensivo presenta una mayor utilización de aguas superficiales, con el 92,06%, frente a las aguas subterráneas, que arrojan un valor de 7,94% respecto del total.

Con respecto a la tipología de riego este es mayoritariamente localizado en el momento actual con el 90,92 % de la superficie regada, seguido muy de lejos por el riego de superficie con un 7,17%, y finalmente con un residual uso del riego por aspersión con un 1,91%.

Otras fuentes de información

Bajo este epígrafe englobamos los datos ofrecidos por el INE, IEA, ICRA y CES, que básicamente adquieren los mismos de las dos principales fuentes de información previamente analizadas. Se ha de señalar que, los datos recogidos en el ICRA se adquieren con otra metodología e incluyen a las parcelas con riegos deficitarios y/o riegos de emergencia. También se han considerado los datos arrojados por otros autores de reconocido prestigio que recogen los datos suministrados por las fuentes oficiales, realizan estimaciones, o utilizan como base la cartografía para inferir la superficie de olivar de riego.

Síntesis de resultados

Al compararse los datos de las distintas fuentes de información disponibles, así como los referidos a trabajos publicados de diferentes autores que reflejan con carácter histórico las diferencias entre los mismos se observa que hasta el año 1995 no empiezan a aparecer diferencias significativas, que se mantienen fluctuando, hasta el año 2011, cuando comienzan a mostrar cierta convergencia. Así por ejemplo en el año 1991, según el organismo de cuenca (CHG), Jaén contaba con 62.000 has de riego de olivar, y en 1996 con 156.000 has (*Saura, J., 1998*). Este mismo año, el estudio monográfico del olivar realizado por el Observatorio Económico de la Provincia de Jaén expresaba según datos facilitados por la Delegación Provincial de Jaén, de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, que la superficie de olivar de regadío en la provincia era de 111.726 has, (*CES, 1997*).

De otro lado, la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, en la elaboración del "Inventario y Caracterización de los Riegos de Andalucía", ofrece en 1997 valores intermedios respecto de los datos recabados por el Ministerio de Agricultura y el organismo de cuenca, pero a partir de 1998 arroja valores superiores a los ofrecidos por el primero, (estando ausentes los datos del segundo al no realizar un desglose por límites administrativos).

De otro lado, los datos ofrecidos por distintos autores reconocidos arrojan valores ligeramente superiores a los de los Anuarios de Estadística Agraria.

Para poner de relieve los resultados obtenidos, se han elaborado las tablas 6.a, y 6.b, en las que se aborda parte de la información en períodos quinquenales recopilada considerando los casos en los que tenemos distintos valores de datos y aplicando técnicas de estadística descriptiva, debido a que las variables presentan observaciones limitadas.

Tabla 6.a: Tasa de variación. Andalucía.

Período	AEA	CHG	ICRA	CAP	CES	Otras fuentes de información
1976-1980	72.627					
1981- 1985	81.937					
1986- 1990	96.361					
1991-1995	115.929 27,39%	91.000				1.094.000 1102,20%
1996-2000	160.466	229.627 43,10%	231.961 44,55%	195.330 21,73%		230.767 43,81%
2001-2005	247.666 7,59%	277.905 20,73%	422.212 83,42%			230.193
2006-2010	288.157 7,46%	409.808 52,83%	297.444 10,92%	268.151		467.638 74,39%
2011-2015	406.911	440.097 8,16%		986.957 142,55%		
2016-2019	464.237					

Tabla 6.b: Tasa de variación. Jaén.

Período	AEA	CHG	ICRA	CAP	CES	Otras fuentes de información
1976-1980	43.659					
1981- 1985	50.634				50.844 0,41%	50.844 0,41%
1986- 1990	57.625					56.029
1991-1995	67.540 24,34%	62.000 14,14%			74.577 37,29%	54.321
1996-2000	100.178	156.088 55,81%	157.800 57,52%	191.218 90,88%	105.081 4,89%	143.924 43,67%
2001-2005	150.149 620,17%	20.849	202.237 870,01%			156.057 648,51%
2006-2010	177.560		189.023	261.140		181.510

			6,46%	47,07%		2,22%
2011-2015	239.097 66,11%			294.036 104,27%	143.943	270.000 87,57%
2016-2019	263.109	285.766 8,61%				

A partir de los resultados, se puede afirmar que a nivel de Andalucía encontramos más datos durante los períodos del 1991-2015, y a su vez encontramos mayores divergencias.

La mayor tasa de variación tiene lugar durante el período 1991-1995, con el 1102,20%, seguida del período 2006-2010 con el 74,39%. También podemos observar discrepancias significativas entre los datos ofrecidos por los AEA, (Anuarios de Estadística Agraria) y el organismo de cuenca, (CHG). que llegan a alcanzar valores máximos en torno al 3% durante el período 1996-2000. También se pone de relieve que los datos ofrecidos por el ICRA, la Consejería de Agricultura y Pesca y distintos autores suelen ofrecer datos convergentes respecto al organismo de cuenca, pero arrojando discrepancias significativas.

A nivel de la provincia de Jaén obtenemos más datos en un amplio margen, desde 1981 a 2019 entre los datos ofrecidos. La mayor tasa de variación tiene lugar durante el período 2001-2005. Llegando hasta el 90,88%. y el período 2011-2015, que llega hasta el 140,25%. Al comparar las distintas fuentes de información los valores del organismo de cuenca también muestran generalmente, con excepciones, valores superiores a los ofrecidos por los AEA. La Consejería de Agricultura y Pesca y el ICRA también ofrecen discrepancias durante los mismos períodos considerados; 1996-2000, y 2006-2010. Al igual que ocurre en el ámbito autonómico, los datos encontrados en otras fuentes de información correspondientes a autores de prestigio también ofrecen generalmente valores superiores al de los AEA, encontrando la máxima discrepancia durante el quinquenio 2001-2005.

El panorama general encontrado pone de manifiesto que existe una gran divergencia y dispersión de los datos.

5) Conclusiones y Recomendaciones

Se desprende del estudio realizado una falta de actualización de los datos recogidos pues en ocasiones la información existente se remite a fechas anteriores, los que nos lleva a determinar que no resultan válidos si queremos tomar decisiones acertadas. De igual forma se puede señalar que los organismos encargados de recabar información utilizan distintas metodologías, que además van modificando, y presentan una falta de uniformidad tanto en el tratamiento como en el desglose y publicación de los mismos, lo que arroja en numerosas ocasiones grandes divergencias que imposibilitan el conocimiento y la determinación con unos criterios básicos y generales de la superficie de riego del cultivo de olivar.

Se comprueba por orden de importancia que la principal fuente de información son los Anuarios de Estadística Agraria, y en segundo lugar la ofrecida por los Organismos de Cuenca, aunque arrojan discrepancias y diferencias significativas.

Se considera por tanto necesario la definición de una mejor y más clara estrategia de recogida de la información, con datos más actualizados, que posibilite determinar aspectos básicos como los usos, superficies, consumidores, precios, demandas, fuentes de agua, etc, siendo interesante así mismo el caracterizar los estudios a niveles más pequeños, por ejemplo, a nivel de municipio. En cualquier caso, con las precauciones precisas podemos afirmar que la superficie de olivar de riego en Andalucía se encuentra en torno a las 450.000 has, de las que más de la mitad se encuentran en la provincia de Jaén 250.000 has, lo que supone el 55,55%, en 2018.

También se hace necesaria una mayor transparencia, periodicidad y publicación de la información recogida, el diseño de una estrategia de complementariedad de las metodologías empleadas, y finalmente la facilitación de su acceso, difusión y publicación libre de estos datos.

6) Agradecimientos

Queremos agradecer a D. Jesús González Delgado, Director Técnico del Departamento de Estudios y Estadísticas de la Delegación Provincial de Agricultura de Jaén su inestimable colaboración.

7) Bibliografía

Berbel, J., et al., (2007). "Multifuncionalidad del Regadío: Una aproximación empírica". Editorial: Universidad de Córdoba, (UCO). 15 p.

CAP, 2002. "El olivar andaluz". Empresa Pública de Desarrollo Agrario y Pesquero, (DAP. Unidad de Prospectiva. Difusión pública sin anexo. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía .134 p.

CAP, 2008. "Inventario y Caracterización de los regadíos de Andalucía", Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. CD, 13 p.

CAP, 2011. "Inventario de Regadíos 2008 y su evolución en la última década". Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. 146 p.

CAP, 2011. Agenda del Regadío Andaluz. Horizonte 2015. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. 128 p.

CAP, 2014. "Diagnóstico de Situación Actual". Programa de Desarrollo Rural de Andalucía 2014-2020. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. 24-82.

CAP, 2014. "Programa de Desarrollo Rural de Andalucía 2014-2020. Subprograma temático del sector del Olivar". Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. 59 p.

CAP, 2019. "Planificación Hidrológica 2021-2027". Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, Junta de Andalucía.

CES, 1997. "Observatorio económico de la provincia de Jaén". Consejo Económico y Social de la Provincia de Jaén. 196 p.

CES, 2011. "Dictamen sobre el análisis de la rentabilidad económica de las explotaciones de olivar en la provincia de Jaén". Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía .58 p.

CHG, 1998. "Plan Hidrológico Nacional". Ministerio de Medioambiente.

CHG, 2005. Informe Final "Superficie de los cultivos de regadío y sus necesidades de riego en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir". Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. 127 p.

CHG, 2009. "Planificación Hidrológica 2009-2015". Ministerio de Medioambiente. CHG, 2015. "Planificación Hidrológica 2015-2021". Ministerio de Medioambiente.

CHG, 2018. Datos suministrados por la delegación provincial de Jaén de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

CHG, 2019. "Tercer ciclo de Planificación 2021-2027". Memoria. Apartado 4.3.2.3.1. Ministerio para la Transición Ecológica. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Págs: 183-188.

MAGRAMA, 1994-2008. "Plan Nacional de Regadíos". Fecha de aprobación: 1996. Horizonte: 2008.

MAGRAMA, 2006. " Plan de Choque de modernización de regadíos 2006-2008."

MAGRAMA, 2010. " Estrategia Nacional para la Modernización Sostenible de los Regadíos, horizonte 2015".

MAGRAMA, 2015. " Estrategia Nacional de Regadíos, horizonte 2020".

MAGRAMA, 2018. " Estrategia Nacional de Regadíos 2018-2025".

Robledo, R., 2011. "Historia del Ministerio de Agricultura 1900-2008. Política Agraria y Pesquera de España". Ed: MAGRAMA. 15p.

Saura, J., 1998. "La política del agua en el olivar. Los recursos hídricos del olivar en Andalucía". Foro del Olivar y del Medioambiente. Expoliva. 8 p.

CALIDAD DE TOMATE CULTIVADO CON AGUA DESALADA EN SISTEMA HIDROPÓNICO

Antolinos, V (1), Sánchez-Martínez, MJ (2), Maestre-Valero, JF (3), Gallego-Elvira, B (4), Marín Membrive, P (5) López-Gómez, A (6), Martínez-Hernández, GB (7)

¹ Investigadora, Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería Agronómica, verantolinos@gmail.com

² Investigadora, Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería Agronómica, mjose.sanchez@upct.es

³ Profesor, Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería Agronómica, josef.maestre@upct.es

⁴ Profesora, Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería Agronómica, Belen.Gallego@upct.es

⁵ Investigadora, Centro de Investigación CIAIMBITAL, Universidad de Almería, patriciamarin@ual.es

⁶ Profesor, Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería Agronómica, Antonio.Lopez@upct.es

⁷ Investigador, Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería Agronómica, GinesBenito.Martinez@upct.es

RESUMEN

El uso del agua marina desalinizada como una alternativa a los recursos de agua convencionales cada vez gana más interés debido al gran déficit hídrico de algunas zonas del planeta como es el caso de la cuenca mediterránea. Por ello, se estudió el efecto del riego con agua marina desalinizada, y de pozo, así como una mezcla de ambas (para reducir costes), sobre la calidad del tomate (una de las hortalizas con mayor tolerancia a la salinidad), cultivado en suelo normal o en hidroponía. El uso de agua marina desalinizada no afectó en gran medida a la calidad físicoquímica del tomate (sólidos solubles, acidez titulable, firmeza y color). Por otra parte, el agua marina desalinizada aumentó la capacidad antioxidante total del tomate mientras que otros compuestos como la vitamina C no se vieron altamente afectados. En conclusión, el uso de agua marina desalinizada no compromete la calidad del tomate siendo incluso incrementadas las propiedades antioxidantes de esta hortaliza de alto valor económico.

INTRODUCCIÓN

El tomate es una planta con alta **tolerancia a la salinidad** y es considerada entre las hortalizas de invernadero más importantes del mediterráneo con un alto valor económico. El sureste español es una de las zonas con mayor **déficit de agua** en la Unión Europea con un déficit estructural de agua de 429 hm³ al año y se prevé que este problema se agrave llegando en algunas zonas a reducciones de hasta el 40% de sus recursos de agua. Para ello, el Panel Intergubernamental del **Cambio Climático** ha propuesto la desalinización del agua marina como una opción con un excelente potencial.

El efecto del contenido de los nutrientes del agua de riego sobre la calidad del tomate ha sido ampliamente estudiado. Así, el riego de tomates con aguas de alta salinidad (alta conductividad eléctrica, altos contenidos de K, etc.) incrementa la calidad del **fruto** (**firmeza**, **color**, **azúcares**, **ácidos orgánicos**, **vitamina C**, **carotenos**, etc.). Sin embargo, no existen estudios sobre los efectos del riego con **agua marina desalinizada** sobre la calidad del fruto. Además, el cultivo de tomates en suelo hidropónico ha mostrado ser positivo también sobre la calidad del fruto, pero el estudio del efecto combinado con agua marina desalinizada tampoco ha sido estudiado.

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo fue estudiar los efectos del tipo de **agua de riego** (agua marina desalinizada, pozo, o una mezcla de ambas) y del **tipo de suelo** (normal o hidropónico) sobre la **calidad del tomate** físicoquímica, microbiológica, sensorial y nutricional.

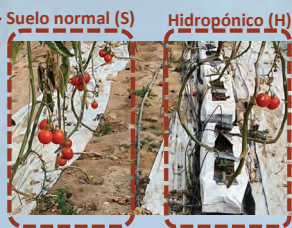
MATERIALES Y MÉTODOS

Los tomates usados en este estudio fueron de la variedad Ramyle. El cultivo se hizo en una finca experimental (Universidad de Almería-Anecoop) en El Toyo (Almería) sobre dos tipos de suelo (normal o hidropónico).

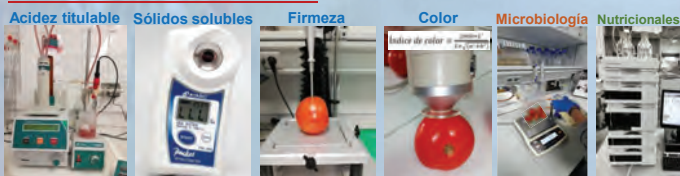
CONDICIONES CULTIVO

- El cultivo se hizo con **2 tipos de suelo** → **Suelo normal (S)** **Hidropónico (H)**
- El riego se realizó con **3 tipos de agua**

Agua marina desalinizada (T1)	Agua mezcla desalinizada-pozo (T2)	Agua de pozo (T3)
2,2 dS/m	2,5 dS/m	3,5 dS/m
Cl ⁻ : 3,66 Na ⁺ : 3,48	Cl ⁻ : 5,31 Na ⁺ : 5,13	Cl ⁻ : 7,77 Na ⁺ : 7,59
NO ₃ ⁻ : 10,5 Mg ²⁺ : 1,00	NO ₃ ⁻ : 10,5 Mg ²⁺ : 1,58	NO ₃ ⁻ : 10,5 Mg ²⁺ : 3,68
SO ₄ ²⁻ : 1,25 K ⁺ : 7,00	SO ₄ ²⁻ : 1,46 K ⁺ : 7,00	SO ₄ ²⁻ : 3,56 K ⁺ : 7,00
HPO ₄ ²⁻ : 1,50 Ca ²⁺ : 3,75	HPO ₄ ²⁻ : 1,50 Ca ²⁺ : 3,75	HPO ₄ ²⁻ : 1,50 Ca ²⁺ : 7,34
NH ₄ ⁺ : 0,50	NH ₄ ⁺ : 0,50	NH ₄ ⁺ : 0,50



DETERMINACIONES CALIDAD FRUTO



RESULTADOS

El contenido de sólidos solubles del tomate cultivado en condiciones de hidroponía y riego con agua de pozo (T3) mostró los valores más altos (≈ 5 °Brix) aunque tales diferencias ($< 0,5$ °Brix) con el agua marina desalinizada (T1) (Figura 1A) no se apreciaron sensorialmente. De manera similar, aunque las muestras T3 mostraron una mayor acidez titulable que las muestras T1, el consumidor no apreciaría tales diferencias ($< 0,06\%$) (Figura 1B). Sin embargo, la interacción tipo de suelo x tipo de riego no fue significativa ($p > 0,05$) ni para los sólidos solubles ni para la acidez titulable.

Los tomates cultivados en condiciones de hidroponía tuvieron una firmeza 1,1-1,3 veces mayor ($p < 0,001$) que las condiciones convencionales del suelo, mostrando las muestras T3 en hidroponía el valor más alto (29 N) (Figura 1C). En cuanto al color, el tomate T1 en suelo hidropónico mostró el color rojo más intenso (Figura 1D), lo cual se correlacionó con los mayores contenidos de licopeno (27,1 mg/kg) y de β -caroteno (25,9 mg/kg) de estas muestras (Tabla 2).

Las muestras registraron unas cargas microbianas superficiales para mesófilos, psicrófilos, enterobacterias, mohos y levaduras de 2,7-3,6, 1,0-2,6, 1,1-2,8, 2,3-3,4 y 1,1-2,2 log UFC (unidades formadoras de colonias)/cm², respectivamente. La interacción no fue significativa ($p > 0,05$) para ningún grupo microbiano, ni tampoco los factores individuales para psicrófilos ni mohos. Aún así, las diferencias significativas observables debido al tipo de riego fueron bajas siendo posiblemente debidas a la contaminación cruzada durante la recolección.

El riego con T3 indujo los mayores contenidos de vitamina C. Aunque las muestras T1 mostraron menores niveles de vitamina C, estos reducciones fueron inferiores al 14%.

La capacidad antioxidante total de todas las muestras estuvo altamente correlacionada ($R^2 = 0,80$) con el contenido total de compuestos fenólicos. Las muestras de tomate de T1 mostraron los niveles más altos de capacidad antioxidante total con valores de 1,637 μ mol/kg.

Figura 1. Sólidos solubles totales (A), acidez titulable (B), Firmeza (C) y color (D) de tomate (cv. Ramyle) cultivado en dos tipos de suelos (suelo normal (S); hidropónico (H)) y tres tipos de riego (agua marina desalinizada (T1); agua mezcla desalinizada-pozo (T2); y agua de pozo (T3) ($n=3$ ±desviación estándar). Las barras representan la diferencia mínima significativa (LSD) para los factores tipo de suelo (A) y tipo de riego (B), así como su interacción. ns, *, † y ‡ denotan significancia para $P \leq$ "no significancia", 0,05, 0,01 y 0,001, respectivamente.

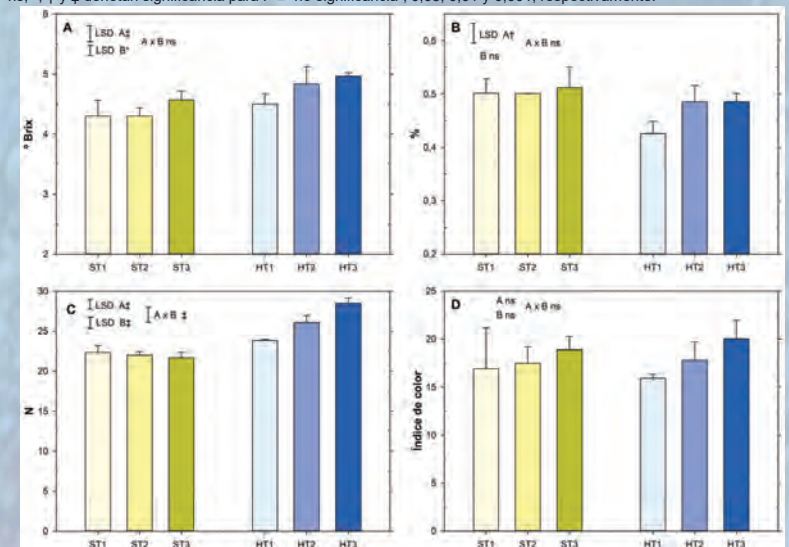


Tabla 1. Recuentos microbiológicos (log CFU/cm²) de tomate (cv. Ramyle) cultivado en dos tipos de suelos (suelo normal (S); hidropónico (H)) y tres tipos de riego (agua marina desalinizada (T1); agua mezcla desalinizada-pozo (T2); y agua de pozo (T3) ($n=3$ ±desviación estándar). Los valores entre paréntesis representan la diferencia mínima significativa (LSD) para los factores tipo de suelo (A) y tipo de riego (B), así como su interacción.

	Mesófilos	Psicrófilos	Enterobacterias	Mohos	Levaduras
ST1	3,07±0,31	1,72±0,38	1,67±0,24	2,33±0,30	1,49±0,18
ST2	3,01±0,08	0,95±0,10	1,10±0,16	2,64±0,34	1,45±0,50
ST3	3,61±0,42	2,58±0,78	3,24±0,32	2,82±0,48	1,05±0,21
HT1	2,70±0,14	2,04±1,35	2,11±0,82	2,82±0,67	1,13±0,27
HT2	2,90±0,47	1,59±0,74	2,31±0,86	3,35±0,41	2,20±0,64
HT3	3,16±0,13	1,83±0,75	2,84±0,42	2,32±0,25	1,35±0,35
Tipo de suelo (A)	(0,31)*	ns	ns	ns	ns
Tipo de riego (B)	(0,37)*	ns	(0,96)†	ns	(0,49)*
AxB	ns	ns	ns	ns	ns

Tabla 2. Contenido de licopeno y β -caroteno (mg/kg peso fresco (pf)), vitamina C (mg/kg pf), compuestos fenólicos totales (mg/kg pf) y capacidad antioxidante total (CAT; μ mol/kg pf) de tomate (cv. Ramyle) cultivado en dos tipos de suelos (suelo normal (S); hidropónico (H)) y tres tipos de riego (agua marina desalinizada (T1); agua mezcla desalinizada-pozo (T2); y agua de pozo (T3) ($n=3$ ±desviación estándar). Los valores entre paréntesis representan la diferencia mínima significativa (LSD) para los factores tipo de suelo (A) y tipo de riego (B), así como su interacción.

	Licopeno	β -caroteno	Vitamina C	Fenólicos	CAT
ST1	21,2±3,1	20,2±2,9	50,1±2,1	241,3±7,1	1525,6±157,0
ST2	22,9±4,4	21,9±3,3	49,1±6,0	238,0±10,4	1349,4±68,0
ST3	18,4±4,8	17,6±4,9	57,9±5,1	228,5±24,7	1455,9±89,2
HT1	25,6±2,3	24,5±3,1	49,6±4,1	264,3±22,2	1345,0±138,7
HT2	26,2±1,4	25,1±1,3	50,3±5,6	230,6±19,5	1393,8±96,3
HT3	27,1±4,1	25,9±3,8	55,8±2,9	274,1±4,3	1523,4±52,5
Tipo de suelo (A)	(5,1)†	(4,9)†	ns	(17,1)*	ns
Tipo de riego (B)	ns	ns	(5,7)*	ns	ns
AxB	ns	ns	ns	ns	ns

CONCLUSIONES

El uso de agua marina desalinizada no compromete la aceptación del consumidor de los tomates debido a las bajas diferencias de calidad (no apreciables). Por otra parte, el riego con agua marina desalinizada permite incrementar las propiedades beneficiosas para la salud del tomate al mostrar una mayor capacidad antioxidante, mientras que otros compuestos como la vitamina C no se ven altamente afectados. Además, la combinación del agua marina desalinizada con el agua de pozo (menor costo) tampoco compromete la calidad del tomate lo que podría inducir ahorros económicos notables.

AGRADECIMIENTOS: Este estudio fue financiado a través del Programa Europeo LIFE Program de la Unión Europea por el proyecto DESEACROP (LIFE16-ENV-ES-000341).

A-09-2020

EFECTO DEL MANEJO DEL RIEGO SOBRE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD POSTCOSECHA DE NECTARINA

Conesa M.R., Conejero, W., Vera, J., Ruiz-Sánchez, M.C.(P)

Departamento de Riego. CEBAS-CSIC. Campus Universitario de Espinardo, Apartado 164, 30100, Murcia, España
mrconesa@cebas.csic.es; wenceslao@cebas.csic.es; jvera@cebas.csic.es; mcruiz@cebas.csic.es

Resumen

En este trabajo se evalúan los efectos de diferentes condiciones de manejo del riego sobre la producción, calidad y conservación de nectarina extratemprana. Se aplicaron 3 tratamientos: dos con programación del riego en base a 100% ET_c, con un lateral de riego (T-Simple) y dos laterales (T-Doble), y programación del riego automática (T-Automático) en base a sensores de agua en el suelo. A pesar de la doble superficie de suelo humectada en T-Doble se observó un déficit ligero durante la postcosecha (disminución de potencial hídrico de tallo a mediodía ($\Psi_{t,md}$) de 0,15 MPa respecto a T-Simple), que no afectó de forma significativa a la producción y calidad de la nectarina. La programación automática en base a sensores generó un déficit moderado, con diferencias de $\Psi_{t,md}$ de 0,25 MPa respecto a T-Simple durante la postcosecha. T-Automático supuso un ahorro de agua del 35%, sin afectar a los parámetros de producción (salvo un aumento del contenido en sólidos solubles totales, SST) y mejorando la eficiencia del uso del agua, EUA (32% > T-Simple). Durante el periodo de conservación (10 días a 0 °C + 5 días a 15 °C), las nectarinas del T-Automático mostraron los valores más altos de SST y del índice de madurez, mientras que las del T-Doble mostraron los valores más altos de luminosidad (L). Los frutos de todos los tratamientos se evaluaron sensorialmente como aptos para la comercialización, no obstante, los del T-Automático fueron los mejor clasificados por el consumidor.

1) Introducción

Las variedades de maduración extra-temprana dan su nombre a la pronta recolección, que para el caso de la nectarina en condiciones mediterráneas acontece entre finales de abril y principios de mayo. En estos meses, el clima es menos extremo, lo que permite reducir el consumo de agua sin mermar el rendimiento productivo (Ruiz-Sánchez et al., 2018). No obstante, los frutos cosechados se caracterizan por poseer bajo contenido en sólidos solubles (SST < 10 °Brix) y elevada acidez titulable. Además, atributos como el sabor, la apariencia visual o la textura están afectados por las condiciones ambientales y el aporte hídrico (Génard et al., 2007).

Investigaciones recientes, han mostrado un incremento en la calidad del fruto del nectarino mediante la aplicación de riego deficitario durante la postcosecha y/o antes de la recolección (Falagán et al., 2015; López et al., 2016). Sin embargo, no existen muchos estudios sobre la respuesta productiva y de calidad de la nectarina a diferentes condiciones de programación del riego.

El diseño agronómico del sistema de riego por goteo más común en cultivos frutales es el de un único lateral porta-emisores por hilera de árboles (Conesa et al., 2019). La hipótesis planteada es que el mismo volumen de agua aplicado en dos líneas porta-emisores, favorecería un mayor volumen humectado, así como la retención y difusión de la humedad del suelo, reduciendo la acumulación de sales, la evapotranspiración, y, en

consecuencia, mejorando la eficiencia del riego y la productividad del agua. Además, la integración de las nuevas tecnologías en los sistemas de riego por goteo, como el uso de sensores de agua en el suelo y su gestión telemática, contribuyen a la toma de decisiones de cuándo, cómo regar y qué cantidad aplicar de forma automática (Vera et al., 2019).

2) Objetivos

Los objetivos del trabajo fueron: (i) evaluar la respuesta productiva de nectarinos extra-tempranos al manejo del riego con programación basada en ET_c (con uno y dos laterales de riego) y riego automatizado basado en sensores de agua del suelo, y (ii) evaluar la calidad postcosecha de la nectarina en las distintas condiciones de manejo del riego.

3) Materiales y Métodos

3.1.) Condiciones de la parcela experimental

El ensayo tuvo lugar durante el ciclo de crecimiento 2018-2019 en una parcela de $\approx 0,5$ ha de la finca experimental del CEBAS-CSIC, situada en Santomera-Murcia ($38^{\circ} 06' N$, $1^{\circ} 02' O$), de nectarinos extra-tempranos (*Prunus persica* (L.) Batsch cv. 'Flariba'), de 8 años de edad, injertados sobre GxN-15, y distribuidos a un marco de plantación de 6,5 m x 3,5 m. El suelo era calizo, pedregoso y poco profundo, con una textura franco-arcillosa, una densidad aparente de $1,43 \text{ g cm}^{-3}$ y bajos niveles de materia orgánica (1.3%) y capacidad de intercambio catiónico ($97,9 \text{ mmol kg}^{-1}$). El agua de riego procedente del trasvase Tajo-Segura presentó valores medios anuales de conductividad eléctrica (CE_{25°C}) de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ y pH cercano a 8. El contenido de agua en el suelo (Θ_v) a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PM) fue del 29 y 14%, respectivamente. Los árboles recibieron $83\text{-}56\text{-}109 \text{ kg ha}^{-1}$ y año^{-1} de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente, mediante fertirriego (Vera y de la Peña, 1994). Las prácticas culturales (control de malas hierbas, tratamientos fitosanitarios, aclareo, etc.) fueron las típicas para frutales de hueso de la zona.

3.2.) Tratamientos de manejo del riego

Se aplicaron 3 tratamientos de riego: (i) T-Simple: regado al 100% de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) con una línea porta-goteros, con 4 goteros de 4 L h^{-1} dispuestos a 50 y 130 cm del tronco; (ii) T-Doble: regado al 100% ET_c con dos líneas porta-goteros, separadas entre sí 1 m, con 8 goteros de 4 L h^{-1} y dispuestos 50 y 130 cm del eje del tronco; y (iii) T-Automático: regado según valores umbrales de Θ_v monitorizados con sondas de capacitancia, con el mismo sistema de riego que T-Simple.

En T-Automático, los valores de Θ_v fueron establecidos de acuerdo a umbrales de déficit hídrico (α) del 10% durante el crecimiento del fruto y la postcosecha inicial, y del 30% durante la postcosecha final, calculados respecto al agotamiento de agua máximo permitido (MAD) (Vera et al., 2019). El riego se activaba de manera automática cuando los valores de Θ_v alcanzaban el MAD, y cesaba cuando alcanzaban el umbral de CC. El valor de α se incrementó durante la postcosecha final para evitar un excesivo crecimiento vegetativo del árbol.

La ET_c fue estimada como el producto de la evapotranspiración de referencia (ET₀, según ecuación de Penman-Monteith, Allen et al., 1998) y coeficientes de cultivo locales (K_c, Abrisqueta et al., 2013). El diseño experimental consistió en 4 repeticiones distribuidas al azar de 6 árboles por repetición, utilizándose los 4 centrales para las medidas.

3.3.) Medidas realizadas durante la precosecha

El Θ_v fue monitoreado en continuo con 4 sondas de capacitancia EnviroScan® (Sentek Sensor Technologies, Adelaida, Australia) por tratamiento de riego (1 sonda por repetición), previamente calibradas (Evelt et al., 2006; Abrisqueta et al., 2012). Los tubos de

acceso de PVC fueron instalados a 10 cm del emisor situado a 50 cm del tronco. Cada sonda de capacitancia tenía sensores a 10, 30, 50 y 70 cm de profundidad que estaban conectados de forma inalámbrica a una unidad de transmisión de radio. Los sensores leen cada 5 min y la media de 15 min es enviada a través de un sistema de telemetría (ADCON Telemetry Smart Solutions, Austria). La visualización y procesamiento de los datos se realizó en la plataforma web addVANTAGE *versión pro 6.6*. Más detalles sobre el sistema de riego automatizado pueden consultarse en Vera et al. (2019).

El estado hídrico de la planta fue evaluado con medida del potencial hídrico de tallo a mediodía ($\Psi_{t,md}$) con cámara de presión (Soil Moisture Equipment Corp., Model 3000) en 4 hojas sanas por tratamiento de riego (1 hoja por repetición) situadas en la zona Norte y cerca del tronco de los árboles, las cuales fueron cubiertas con papel de aluminio 2 h antes de la medida, siguiendo las recomendaciones de Hsiao (1990).

La sección transversal del tronco (STT) se determinó con pie de rey (Codimex-C100cm, Canadá) a 30 cm del suelo en 4 árboles por repetición y tratamiento y el diámetro ecuatorial del fruto con calibre digital (Mitutoyo, CD-15D) en 20 frutos por repetición y tratamiento.

En la cosecha (realizada la primera semana de mayo) se controló el peso total, número de frutos por árbol y % de frutos agrietados, en todos los árboles del ensayo ($n=24$ por tratamiento). La eficiencia productiva (EP) fue estimada como el cociente entre la producción total y la STT. La eficiencia de uso del agua (EUA) fue determinada como el cociente entre la producción total y el volumen de riego aplicado en cada tratamiento.

3.4.) Ensayo de conservación postcosecha. Medidas de calidad física, química y sensorial.

Tras la cosecha, unos 20 kg de nectarinas por tratamiento se transportaron a la cámara de almacenamiento frigorífico situada en las instalaciones del CEBAS-CSIC. Allí se seleccionaron 45 frutos sanos y sin defectos por cada repetición ($n=180$ frutos por tratamiento): 15 frutos/repetición se dedicaron al estudio de calidad físico-química de la cosecha y el resto se dispusieron en cajas con alveolos que fueron almacenados durante 10 días a 0°C y humedad relativa (HR) del 90-95% (*periodo de almacenamiento en frío*) y 5 días a 15°C y HR=70-75% (*periodo de simulación de vida comercial*).

Al final de cada periodo: día 0 (cosecha), día 10 (fin de almacenamiento en frío) y día 15 (fin de simulación de vida comercial) se hicieron las siguientes determinaciones:

- **Parámetros de calidad física.**

En 15 frutos por repetición (60 por tratamiento) se realizaron las siguientes medidas:

- Pérdida de peso: con balanza de precisión (Mettler PE 360 DeltaRange, Suiza).
- Firmeza: con texturómetro (AGROSTA® 100Field, Francia).
- Color: con colorímetro (Minolta CR-10, Osaka, Japón) según el sistema de coordenados CIE $L^*a^*b^*$. A partir de estos valores, se calculó el croma [$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$] y el tono o matiz [ángulo hue, $h^\circ = \tan^{-1} (b^*/a^*)$].

- **Parámetros de calidad química.**

Se utilizaron 5 frutos por repetición (20 por tratamiento) que fueron licuados y en el jugo obtenido se realizaron las siguientes medidas:

- Sólidos solubles totales (SST) expresados en °Brix: con medidor digital (Atago PAL-BX/ACID F5 Master Kit- Multifrutas, Japón).
- Acidez titulable (AT): con medidor digital (Atago PAL-BX/ACID F5 Master Kit- Multi-frutas, Japón). Los valores obtenidos fueron expresados en mg ácido málico L^{-1} jugo de nectarina.
- Índice de Madurez (IM): Estimado como el cociente SST/ AT.

- pH y CE: Con medidor Cyberscan (Model PCD-6500, Nijkerk, Holanda) a temperatura ambiente.

- **Análisis sensorial**

Al final de cada periodo de conservación (días 10 y 15 del experimento) un panel de 10 personas (6 mujeres y 4 hombres, entre 25 y 60 años) realizaron una cata sensorial que mostró las preferencias del consumidor, siguiendo las indicaciones de Falagán et al. (2015) con algunas modificaciones. Entre otros, se evaluó la apariencia visual, sabor, textura y la calificación global, para lo que se utilizó una escala hedónica de 5 puntos siendo: 1: extremadamente malo / textura muy blanda; 2: me disgusta / textura blanda; 3: ni me gusta ni disgusta / moderada textura (límite de comercialización); 4, me gusta / buena textura y 5: me encanta / excelente textura.

3.5.) Análisis estadístico.

A los datos obtenidos se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el programa SPSS versión 13.0 para Windows. Para los del ensayo de conservación postcosecha se consideró un modelo bifactorial (tratamiento de manejo del riego y tiempo de conservación, como factores principales) y las medias se compararon con el test de la mínima diferencia significativa (MDS) a un nivel de confianza del 95% ($MDS_{0.05}$).

4) Resultados y Discusión.

Durante el periodo de estudio, la cantidad de agua de riego aplicada en T-Simple y T-Doble fue de 470 y 449,2 mm, respectivamente, mientras que el tratamiento T-Automático supuso una reducción en el riego del 35% respecto al T-Simple. Esta reducción (considerando una tarifa de este período de 0,35 €/m³ según datos de la Comunidad de Regantes con fecha 1 de febrero de 2019) supondría un ahorro anual en los costes de agua de ≈ 584 €. Nótese que para el tratamiento T-Simple, el coste sería de unos 1645 €.

Durante el periodo de estudio se registró una precipitación de 392 mm, distribuida de forma irregular como es característico de la zona (Fernández-García et al., 2020). La evapotranspiración de referencia (ET_0) fue de 1081 mm, con valores máximos de 6,98 mm día⁻¹ en los meses más cálidos y de 0,36 mm día⁻¹ en los meses más fríos, lo que supone fuertes déficits hídricos estacionales (Fig. 1A).

Los valores de Θ_v en el tratamiento T-Simple se mantuvieron próximos a capacidad de campo (29%) a lo largo de la estación, mientras que en planta los valores de $\Psi_{t,md}$ oscilaron entre -0,4 y -0,7 MPa, correspondientes a condiciones hídricas no limitantes (Girona et al., 2005; Vera et al., 2013, 2019) (Fig. 1B-D).

A pesar de la mayor superficie humectada, el riego con doble lateral indujo un estrés leve durante la postcosecha, con una disminución de $\Psi_{t,md}$ de 0,15 MPa y Θ_v 11% más bajo que T-Simple. Girona et al. (2005) y Naor et al. (2005) establecieron un valor umbral de $\Psi_{t,md}$ de -1,5 MPa para garantizar la fertilidad y floración del melocotonero y de -2,0 MPa para limitar la aparición de frutos dobles. Por su parte, la programación del riego en T-Automático supuso una reducción media en los valores de Θ_v del 13% respecto a T-Simple, que se tradujeron en niveles de déficit hídrico moderado en planta durante la postcosecha final, con una disminución de $\Psi_{t,md}$ de 0,25 MPa respecto a T-Simple y un valor mínimo de -1,7 MPa en octubre (Fig. 1B-D). En cuanto al diámetro del fruto, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Fig. 1C). López et al., (2016) indicaron que un ligero déficit ($\Psi_{t,md} \approx -1,25$ MPa) aplicado antes de la recolección puede afectar negativamente al tamaño y producción final del nectarino.

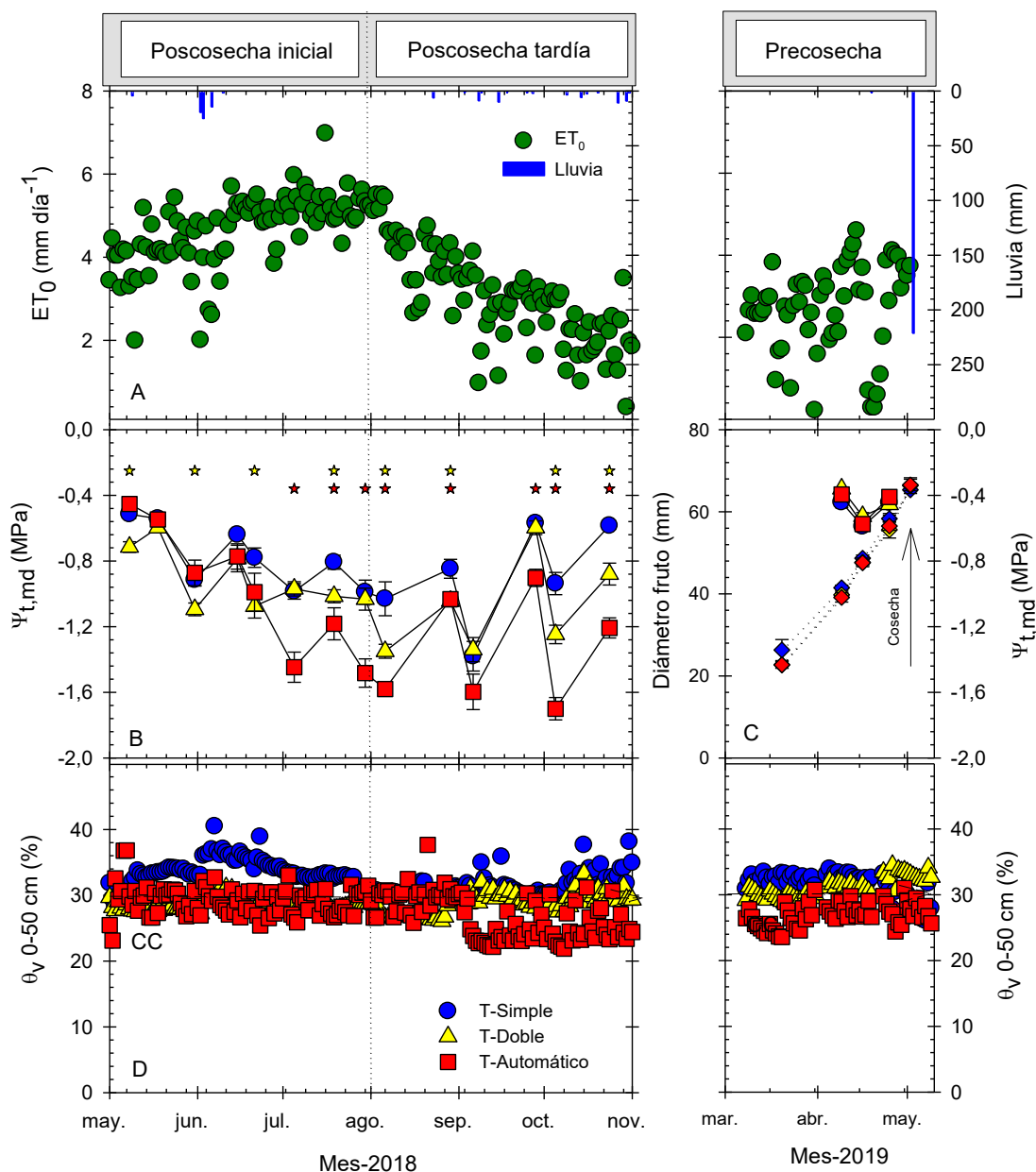


Figura 1. Evolución estacional de: **(A)** Evapotranspiración de referencia (ET_0 , mm día⁻¹) y lluvia (mm día⁻¹); **(B)** Potencial hídrico de tallo a mediodía ($\Psi_{t,md}$, MPa); **(C)** Diámetro ecuatorial del fruto (mm, \diamond); y **(D)** Humedad volumétrica del suelo en el perfil 0-50 cm (θ_v , %) en los tratamientos T-Simple (—●—), T-Doble (—▲—) y T-Automático (—■—). Cada punto es la media de 4 hojas, 80 frutos y 12 sensores \pm error estándar (en D se omite para mejor visualización). Línea horizontal en D = capacidad de campo. Los asteriscos indican diferencias significativas respecto a T-Simple según el test de la MDS_{0.05}.

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos, en ninguno de los parámetros productivos estudiados (producción total y n° de frutos por árbol, peso medio de fruto y % de frutos agrietados), si bien la eficiencia de uso del agua (EUA) fue significativamente mayor en el tratamiento T-Automático, con un incremento del 32% respecto a T-Simple (Tabla 1). Es importante señalar que los valores de producción total se refieren solo a frutos de calidad comercial. Conesa et al. (2019) indicaron que la programación del riego con sondas de capacitancia permitió un ahorro del agua del 40% sin producir mermas en la producción final del nectarino extratemprano en relación con la programación de riego tradicional basada en ETc.

La sección transversal del tronco y la eficiencia productiva fueron similares en los tratamientos de manejo del riego (Tabla 1). Millán et al. (2019) observó en ciruelo que la programación de riego deficitario de forma automática en base a sensores de humedad del suelo tuvo resultados similares de rendimiento y vigor de planta a los de riego deficitario convencional basado en porcentajes de reducción de la ETc.

Tabla 1. Parámetros productivos de nectarinos en los tratamientos de manejo del riego.

	T-Simple	T-Doble	T-Automático
Producción (kg árbol ⁻¹)	23,73	25,32	22,75 ns
Carga productiva (nº frutos árbol ⁻¹)	166,5	180,5	154,75 ns
Peso medio fruto (g)	150,07	149,96	152,9 ns
Frutos rajados (%)	45,01	32,82	37,57 ns
Sección transversal del tronco (STT, cm ²)	269,5	207,4	220,4 ns
Eficiencia productiva (EP, kg cm ⁻²)	0,08	0,12	0,10 ns
Eficiencia uso del agua (EUA, kg m ⁻³)	5,04 a	5,63 a	7,50 b

ns: no significativo. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de MDS_{0,05}

El moderado déficit hídrico generado en T-Automático incrementó los SST (°Brix) en la cosecha (Tabla 2), con valores cercanos al óptimo de consumo (Crisosto et al., 1994). Esto puede ser debido a una síntesis más activa de ácidos orgánicos en respuesta al estrés hídrico y como mecanismo de ajuste osmótico (Pedrero et al., 2014). Durante el periodo de conservación (10 días a 0 °C + 5 días a 15 °C), las nectarinas del T-Automático mostraron los valores más altos de SST (°Brix) e IM, el cual estuvo motivado por un descenso en AT, mientras que las del T-Doble registraron los valores más altos de luminosidad (L). El descenso de AT tras la comercialización, también apreciada en melocotón bien regado y con RDC (Gelly et al., 2004), indica un consumo de ácidos orgánicos como sustrato respiratorio del fruto. El incremento de SST en frutos sometidos a RDC ha sido observado en nectarino (Falagán et al., 2015; López et al., 2016), ciruelo (Intrigliolo y Castel et al., 2010), granado (Laribi et al., 2013), melocotonero (Rahmati et al., 2014) y peral (López et al., 2011). En general, dicho incremento se relaciona con una mejora en el sabor de la fruta que implica una mayor aceptación por parte del consumidor, quien percibe un sabor más dulce (Crisosto et al., 1994). Sin embargo, y a pesar del incremento de °Brix en T-Automático, el panel de cata sensorial no reflejó esa sensación debido al carácter astringente de la variedad de nectarina. En este sentido, López et al. (2016) indicó que los consumidores apreciaron cambios en la calidad de nectarinas sometidas a estrés hídrico, que no correspondieron con los resultados obtenidos por instrumentos objetivos de medida (e.j. refractómetro, colorímetro), por lo que proponen la calidad sensorial del consumidor como una variable sensible para el análisis de programas de riego deficitario. De forma general, el tiempo de conservación (t), afectó de forma más significativa a la calidad físico-química de la nectarina, que el tratamiento de riego (R) (Tabla 2).

La pérdida de peso de los frutos fue también similar e inferior al 7% en todas las nectarinas al final del ensayo de conservación (Fig. 2), hecho que puede achacarse a la formación de una cutícula más gruesa como mecanismo de defensa al estrés hídrico, que previene la deshidratación de los frutos durante el periodo de conservación (Falagán et al., 2014). Además, Mpelasoka et al. (2001) señalaron una menor incidencia de ataques fúngicos debido a la formación de dicha cutícula. Otros autores han indicado menores pérdidas de peso en albaricoques conservados a 1 °C durante 30 días (Pérez-Pastor et al., 2007). La apariencia visual y textura (o ablandamiento) de los frutos fue significativamente mayor en T-Automático respecto a T-Doble y T-Simple (Fig. 3A, B). La calidad sensorial global de los frutos fue apta para el consumo en todos los tratamientos (Fig. 3D).

Tabla 2. Calidad físico-química de las nectarinas en cosecha (día 0), fin periodo de almacenamiento en frío (día 10) y fin periodo de vida comercial (día 15) en los tratamientos de manejo del riego.

	Diámetro ecuatorial (mm)	Firmeza (%)	L*	°Hue	Croma (°C)	SST (°Brix)	AT (mg L ⁻¹)	IM	CE	pH
día 0										
T-Simple	65,33	88,6	38,38	57,97	27,97	9,57 a	13,42	7,77	4,5	3,5 ab
T-Doble	66,37	86,8	39,7	57,98	29,73	9,82 a	14,62	7,58	4,8	3,46 a
T-Automático	66,53	86,5	38,52	57,96	28,09	10,72 b	10,65	10,17	4,68	3,57 b
día 10										
T-Simple	65,83	88,77	37,11 a	57,95	29,18	9,8 ab	10,12	9,7	4,5	3,55
T-Doble	67,21	89,27	38,94 b	57,96	31,26	9,65 a	9,72	9,92	4,41	3,61
T-Automático	65,69	89,42	38,03 ab	57,96	29,29	10,62 b	9,97	10,64	4,4	3,46
día 15										
T-Simple	64,98	49,45	38,15 a	57,93	31,56	10,07	14,77 ab	7,04 ab	3,76 a	3,95
T-Doble	65,63	49,6	40,48 b	57,95	34,11	10,07	16,4 b	6,2 a	3,96 a	3,87
T-Automático	64,9	48,25	39,04 ab	57,92	32,46	10,25	11,32 a	9,67 b	4,65 b	3,89
ANOVA / Medias										
Tratamiento riego (R)	ns	ns	**	ns	ns	*	ns	*	ns	ns
T-Simple	65,48	75,6	37,71 ab	57,95	29,19	9,86 a	12,92	8,2 a	4,24	3,68
T-Doble	66,81	74,72	39,46 b	57,96	31,4	9,85 a	13,63	7,97 a	4,34	3,64
T-Automático	66,02	75,23	38,56 a	57,95	29,96	10,53 b	10,6	10,22 b	4,58	3,66
Tiempo conservación (t)	ns	***	ns	*	***	ns	*	*	*	***
día 0	66,89	87,31 b	38,48	57,97 b	27,93 a	10,10	13,04 b	8,67 b	4,64 b	3,53 a
día 10	66,25	89,15 c	38,03	57,96 b	29,91 b	10,03	9,94 a	10,09 b	4,44 ab	3,54 a
día 15	65,18	49,1 a	39,23	57,93 a	32,71 c	10,13	14,16 b	7,63 a	4,12 a	3,91 b
Interacción R x t	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Letras distintas indican diferencias significativas para la MDS_{0.05}. *P <0,05; ** P<0,01;***P<0,001. ns :no significativo.

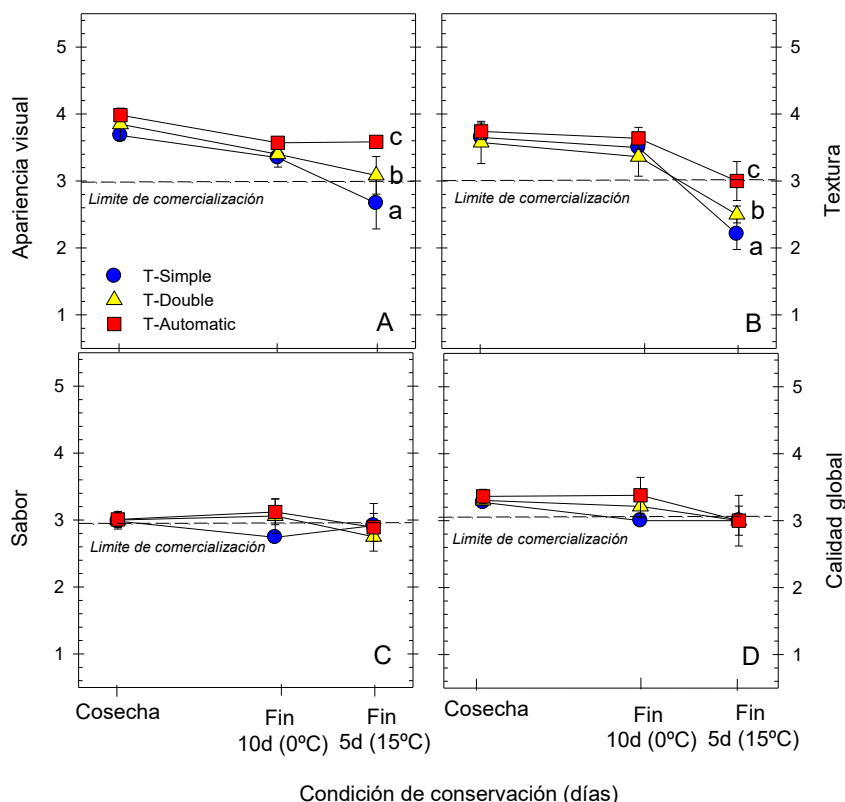


Figura 2. Apariencia visual (A), textura (B), sabor (C) y calidad global (D) de las nectarinas en la cosecha, al final del periodo de almacenamiento en frío y del periodo de simulación de vida comercial en los tratamientos T-Simple (—●—), T-Doble (—▲—), y T-Automático (—■—). Los valores son media de 10 panelistas \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas según el test de la MDS_{0.05}.

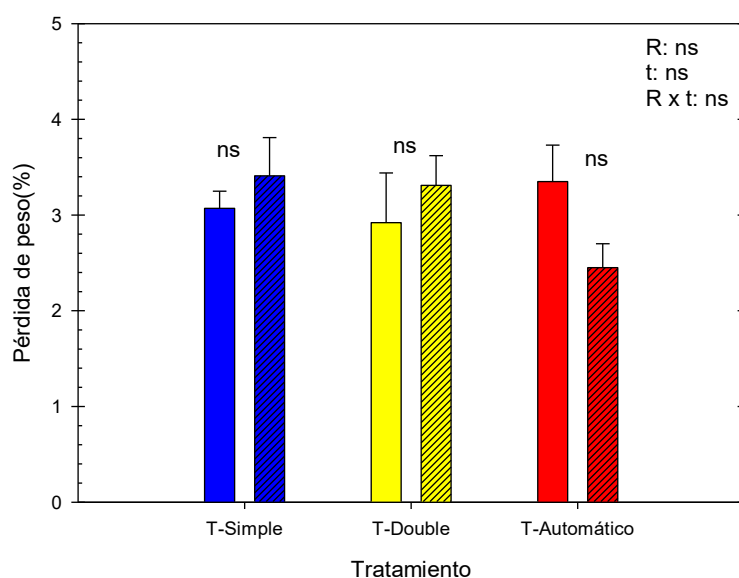


Figura 3. Pérdida de peso de las nectarinas al final del periodo de almacenamiento en frío (barras rellenas) y del periodo de simulación de vida comercial (barras rayadas) en los distintos tratamientos de manejo del riego. Los valores son media de 4 repeticiones de 15 frutos (n=60 frutos por tratamiento) \pm error estándar. ns: no significativo. ANOVA: Tratamiento riego (R), tiempo conservación (t), interacción R x t.

5) Conclusiones y Recomendaciones

La programación del riego con sensores de agua en el suelo en el tratamiento T-Automático ha permitido ahorros importantes de agua de riego (= 35%), frente al riego basado en ETc, sin producir mermas en el rendimiento, calidad y vida postcosecha (conservación) de la nectarina, lo que incrementó la eficiencia de uso del agua en un 32% respecto a T-Simple. El empleo de criterios agronómicos precisos junto al uso de dispositivos tecnológicos es una alternativa que mejorará la programación del riego, contribuyendo a la sostenibilidad de la agricultura. El riego con doble lateral no ha supuesto ninguna ventaja en términos de producción y calidad respecto al riego con lateral simple.

6) Agradecimientos

El trabajo se ha financiado con los proyectos AGL2016-77282-C03-1R y PID2019-106226RB-C2-1 (Plan Nacional AEI-Fondos FEDER-UE) y 19903/GERM/15 (Fundación Séneca, Región de Murcia). M.R. Conesa agradece la ayuda posdoctoral disfrutada del programa Juan de la Cierva (FJCI-2017-32045).

7) Bibliografía

Abrisqueta, I., Abrisqueta, J., Tapia, L., Munguía, J., Conejero, W., Vera, J., Ruiz-Sánchez, M.C. (2013). Basal crop coefficients for early-season peach trees. *Agricultural Water Management*. 121, 158–163.

Abrisqueta, I., Vera, J., Tapia, L., Abrisqueta, J., Ruiz-Sánchez, M. (2012). Soil water content criteria for peach trees water stress detection during the postharvest period. *Agricultural Water Management*. 104, 62–67.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.

Conesa, M.R., Conejero, W., Vera, J., Ramírez-Cuesta, J.M., Ruiz-Sánchez, M.C. (2019). Terrestrial and remote indexes to assess moderate deficit irrigation in early-maturing nectarine trees. *Agronomy*. 9 (10), e630.

Crisosto, C.H., Johnson, R.S., Luza, J.G., Crisosto, G.M. (1994). Irrigation regimes affect fruit soluble solids concentration and rate of water loss of 'O'Henry' peaches. *HortScience*. 29, 1169–1171.

Evelt, S.R., Tol, J.A., Howell, T.A. (2006). Soil profile water content determination. *Vadose Zone J.* 5, 894.

Falagán, N., Artés, F., Artés-Hernández, F., Gómez, P.A., Pérez-Pastor, A., Aguayo, W. (2015). Comparative study on postharvest performance of nectarines grown under regulated deficit irrigation. *Postharvest Biology and Technology*. 110, 24–32.

Falagán, N., Artés, F., Gómez, P.A., Artés-Hernández, F., Conejero, W., Aguayo, W. (2014). Deficit irrigation strategies combine with controlled atmosphere preserve quality in early peach. *Food Science and Technology International*. 21 (7), 547–556.

Fernández-García, I., Lecina, S., Ruiz-Sánchez, M.C., Vera, J., Conejero, W., Conesa, M.R., Dominguez A., Pardo, J.J., Lélis, B.C., Montesinos, P. (2020). Trends and challenges in irrigation scheduling in the semi-arid area of Spain. *Water*. 12 (3), e785.

Génard, M., Bertin, N., Borel, C., Bussi eres, P., Gautier, H., Habib, R., L chaudel, M., Lecomte, A., Lescourret, F., Lobit, P., Quilot, B. (2007). Towards a virtual fruit focusing on quality: modelling features and potential uses. *Journal of Experimental Botany*. 58, 917–928.

Gelly, M., Recasens, I., Girona, J., Mata, M., Arbones, A., Rufat, A. y Marsal, J. (2004). Effects of stage II and postharvest deficit irrigation on peach quality during maturation and after cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 84, 561–568.

Girona, J., Gelly, M., Mata, M., Arbonés, A., Rufat, J., Marsal, J. (2005). Peach tree response to single and combined deficit irrigation regimes in deep soils. *Agricultural Water Management*. 72, 97–108.

Hsiao, T.C. (1990). Measurement of tree water status. In: Steward, B., A., Nielsen, D.R. (Eds), *Irrigation of Agricultural Crops*. Agronomy Monograph No.30. American Society of Agronomy. Madison. WI. pp 243–279.

Intrigliolo, D.S., Castel, J.R. (2010). Response of plum trees to deficit irrigation under two crop levels: tree growth, yield and fruit quality. *Irrigation Science*, 28, 525–534.

Laribi, A.I., Palou, L., Intrigliolo, D.S., Nortes, P.A., Rojas-Argudo, C., Taberner, V., Bartual, J., Pérez-Gago, M.B. (2013). Effect of sustained and deficit irrigation on fruit quality of pomegranate cv. 'Mollar de Elche' at harvest and during cold storage. *Agricultural Water Management*. 125, 61–70.

López, G., Larrigaudiere, C., Girona, J., Behboudian, M.H., Marsal J. (2011). Fruit thinning in 'conference' pear grown under deficit irrigation: implications for fruit quality at harvest and after cold storage. *Scientia Horticulturae*. 129 (1), 64-70.

López, G., Echeverria, G., Bellvert, J., Mata, M., Behboudian, M.H., Girona, J., Marsal, J. (2016). Water stress for a short period before harvest in nectarine: Yield, fruit composition, sensory quality, and consumer acceptance of fruit. *Scientia Horticulturae*. 211, 1–7

Millán, S., Casadesús, J., Campillo, C., Moñino, M.J., Prieto, M.H. (2019). Using soil moisture sensors for automated irrigation scheduling in a plum crop. *Water*. 11, e2061.

Mpelasoka, B.S., Behboudian, M.H., Mill, T.M. (2001). Effects of deficit irrigation on fruit maturity and quality of 'Braebourn' apple. *Scientia Horticulturae*. 90, 279–290.

Naor, A., Stern, R., Peres, M., Greenblat, Y., Gal, Y., Flaishman, M.A. (2005). Timing and severity of postharvest water stress affect following-year productivity and fruit quality of field-grown 'Snow Queen' nectarine. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 130, 806–812.

Pedrero, F., Maestre-Valero, J.F., Mounzer, O.; Alarcón, J.J., Nicolás, E. (2014). Physiological and agronomic mandarin trees performance under saline reclaimed water combined with regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management*. 146, 228–237.

Pérez-Pastor, A., Ruiz-Sánchez, M.C., Martínez, J.A., Nortes, P.A., Artés, F. y Domingo, R. (2007). Effect of deficit irrigation on apricot fruit quality at harvest and during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87, 2409–2415.

Rahmati, M., Vercambre, G., Davarynejad, G.H., Bannayan, M., Azizi, M., Génard, M. (2014). Water scarcity conditions affect peach fruit size and polyphenol contents more severely than other fruit quality traits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 95, 1055–1065.

Ruiz-Sánchez, M.C., Abrisqueta, I., Conejero, W., Vera, J. (2018). Deficit irrigation management in early-maturing peach crop. In: *Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment. Tools, Strategies, and Challenges for Woody Crops*. ISBN 978-0-12-813164-0. Elsevier. Chapter 6. pp 111–126.

Vera, J., Abrisqueta, I., Abrisqueta, J.M., Ruiz-Sánchez M.C. (2013). Effect of deficit irrigation on early-maturing peach tree performance. *Irrigation Science*. 31, 747–757.

Vera, J., de la Peña, J.M. (1994). FERTIGA: Programa de Fertirrigación de Frutales; CEBAS-CSIC: Murcia, Spain, pp. 69.

Vera, J., Conejero, W., Conesa, M.R., Ruiz-Sánchez, M.C. (2019). Irrigation factor approach based on soil water content: A nectarine orchard case study. *Water* (11), e589.

A-16-2020

UTILIZACIÓN DEL CÓDIGO HYDRUS-2D PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD Y FRECUENCIA DE RIEGO EN ARROZ REGADO POR GOTEO SUBTERRÁNEO EN SUELOS DE DISTINTA TEXTURA

G. Arbat (1) (P), S. Cufí (2), M. Duran-Ros (3), J. Pinsach (4), C. Prieto (5), J. Pujol (6), J. Puig-Bargués (7), F. Ramírez de Cartagena (8)

¹ Profesor Agregado, Universidad de Girona, Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, gerard.arbat@udg.edu

² Becaria en formación, Universidad de Girona, Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, silvia97ca@gmail.com

³ Profesor Agregado Interino, Universidad de Girona, Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, miquel.duranros@udg.edu

⁴ Profesor Asociado, Universidad de Girona, Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, jaume.pinsach@udg.edu

⁵ Becaria en formación, Universidad de Girona, Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, cristina.prieto@udg.edu

⁶ Profesor Agregado, Universidad de Girona, Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, joan.pujol@udg.edu

⁷ Profesor Titular de Universidad, Universidad de Girona, Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, jaume.puig@udg.edu

⁸ Catedrático de Universidad, Universidad de Girona, Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, francisco.ramirez@udg.edu

1- Introducción

El arroz es uno de los principales cultivos a nivel mundial, siendo básico para la alimentación humana en muchos países. España es el segundo productor europeo después de Italia, con una superficie total de 105.422 ha en 2019 (MAPA, 2020). Tradicionalmente el arroz se cultiva en riego inundado durante prácticamente todo su ciclo y consume entre un 30 y un 40% del agua dulce a nivel mundial (Humphreys *et al.*, 2010).

La escasez de agua representa una preocupación creciente, tanto en las zonas arroceras españolas como en otras zonas productoras del mundo (Zheng *et al.*, 2020). Por ello, la utilización de técnicas de riego que permitan producir arroz con menor cantidad de agua cada vez tiene mayor interés. En este sentido, el riego por goteo subterráneo (RGS) es el sistema que permite un mayor ahorro de agua, mejorando las producciones cuando se compara con otras técnicas de cultivo de arroz aeróbico (Parthasarathi *et al.*, 2018). Sin embargo, existen muy pocos trabajos publicados sobre el RGS en arroz y su aplicación es un reto importante (Rajwade *et al.*, 2018). Prácticamente no existe información sobre la profundidad y separación más adecuada a la que deben instalarse los laterales, la separación y caudal de los emisores, así como la duración del riego. Es necesario por tanto establecer criterios para diseñar el sistema y manejar el riego de forma que se maximice la producción y minimicen las pérdidas de agua.

El modelo HYDRUS-2D ha sido aplicado con buenos resultados en alfalfa para optimizar la profundidad a que deben instalarse los laterales de riego en RGS, estableciendo diferentes escenarios de pauta de riego y textura del suelo (Reyes-Esteves y Slack, 2019). La versión unidimensional de este código, HYDRUS-1D ha demostrado poder predecir de forma

adecuada el potencial de agua en el suelo, la evapotranspiración y la percolación profunda en arroz regado por inundación (Li *et al.*, 2014).

2- Objetivos

El objetivo general del presente trabajo ha sido determinar la profundidad a la que deben instalarse los laterales y establecer la frecuencia de riego más adecuada en riego de arroz con RGS en suelos de distinta textura en la zona del *Baix Ter* (Girona), a partir de ensayos de campo y modelación con HYDRUS-2D.

3- Materiales y Métodos

3.1.- Ensayo de campo

Los ensayos de campo se llevaron a cabo en Pals (Girona, España) durante la temporada de cultivo de 2019 en una parcela experimental de 0,39 ha. La textura de la parcela, resultó ser espacialmente heterogénea, predominando la clase textural franco-arenosa en el 85% de la superficie y la franca en el 15% (Tabla 1). Además, se caracterizó otro suelo de textura arcillo-limosa (Tabla 1), representativo también de la zona de producción, con el objetivo de extrapolar mediante HYDRUS-2D los resultados obtenidos en el suelo del ensayo de campo.

Se instaló un sistema de RGS, con los laterales enterrados a 15 cm de profundidad y 66 cm de separación. Se utilizó tubería integral de goteo de pared delgada (0,38 mm), 16 mm de diámetro interior y emisores autocompensantes de 1 L/h (Dripnet PC TM, Netafim, Israel), distanciados 0,3 m.

La parcela se sembró en seco con la variedad Onice (28/5/2019) mediante sembradora de líneas a una dosis de 135 kg/ha y separación de 19 cm entre líneas de siembra.

El criterio general de riego, se basó en mantener un potencial de -10 kPa a 10 cm de profundidad y a una distancia horizontal de 8 cm del emisor (Figura 1).

Tabla 1. Principales características físicas del suelo de la parcela experimental y de otra representativa de la zona, considerados en las simulaciones.

Característica	Parcela experimental		Otra parcela característica en la zona
	Textura Franco-arenosa	Textura Franca	Textura Arcillo-limosa
Área de la parcela (%)	85,0	15,0	-
Arena (%)	64,9	47,4	6,5
Limo (%)	21,6	35,5	53,4
Arcilla (%)	13,5	17,1	40,1
Densidad aparente (g/cm ³)	1,53	1,45	1,26
Contenido de agua a -33 kPa	16,8	26,1	44,1
Contenido de agua a -1500 kPa	6,1	13,1	25,2

La temperatura, pluviometría, presión atmosférica, radiación global y velocidad del viento se midieron con una estación meteorológica automatizada, situada aproximadamente a 2 km de la parcela experimental. La evapotranspiración de referencia (ET_0) se determinó a partir del método de FAO 56 (Allen *et al.*, 2006). El agua de riego aplicada en la parcela se midió en continuo mediante un contador volumétrico. El contenido de agua del suelo se determinó en continuo desde el día 34 después de la siembra (DDS), a 10 y 25 cm de profundidad y en dos posiciones relativas respecto al lateral de riego, una próxima al emisor a 8 cm del lateral y la otra en la zona intermedia entre 2 laterales de riego (Figura 1). Para ello se utilizó un sensor basado en la reflectometría en el dominio de la frecuencia, con una

precisión de $\pm 3\%$ del contenido volumétrico de agua en el suelo (SM 150-T, Delta-T Devices, Cambridge, Reino Unido). Los sensores estaban situados en la parte de la parcela con textura franco-arenosa. La profundidad del freático se monitorizó con lecturas semanales en 3 tubos piezométricos de 2 m de longitud situados alrededor de la parcela.

A lo largo de la campaña se realizó un seguimiento de los estadios fenológicos del cultivo. La producción se obtuvo a partir de un muestreo realizado el 18/10/2020, en el estadio de madurez fisiológica. Se tomaron 6 muestras en una superficie de referencia de $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$, correspondientes a las dos texturas presentes en la parcela. Después de secar las muestras se obtuvo la producción estandarizada a una humedad del grano del 14%. Se determinó la producción media en las superficies correspondientes a cada clase textural, realizando un análisis de la varianza para averiguar la existencia de diferencias significativas en función del tipo de suelo.

La productividad del agua (WP), que caracteriza la producción por unidad de agua utilizada, se calculó de estas dos maneras:

$$WP_{R+LL} = \frac{P}{R+LL} \quad (1)$$

$$WP_R = \frac{P}{R} \quad (2)$$

en la que P representa la producción de arroz al 14% de humedad (kg/ha); R el agua de riego aplicada (m^3/ha) y LL la precipitación durante el periodo de cultivo (m^3/ha).

3.2.- Simulaciones de la dinámica de agua en el suelo

Para modelar la dinámica del agua en el suelo se utilizó el código HYDRUS 2D (Šimůnek *et al.*, 2008), que resuelve numéricamente la ecuación de Richards:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial z} + K(h) \right] - S(h) \quad (3)$$

donde θ representa el contenido volumétrico de agua en el suelo (cm^3/cm^3), t es el tiempo (día), x y z son las coordenadas espaciales horizontal y vertical (cm), respectivamente, h el potencial de presión de agua en el suelo (cm), $K(h)$ la función conductividad hidráulica insaturada (cm/día) y $S(h)$ el término sumidero de la ecuación ($\text{cm}^3/\text{cm}^3/\text{día}$), para considerar la extracción de agua por la planta.

Las funciones de retención de agua en el suelo y de conductividad hidráulica se determinaron según el modelo de van Genuchten-Mualem (van Genuchten, 1980). Los parámetros de las ecuaciones se indican en la Tabla 2 y fueron estimados con Rosetta (Schaap *et al.*, 2001) a partir de los porcentajes de arena, limo y arcilla, densidad aparente y contenido de agua a -33 y -1500 kPa (Tabla 1).

Tabla 2. Parámetros de las ecuaciones de van Genuchten-Mualem utilizados en las simulaciones.

Parámetro para la ecuación	Franco-arenosa	Franca	Arcillo-limosa
Contenido residual, θ_r (cm^3/cm^3)	0,048	0,048	0,094
Contenido saturación, θ_s (cm^3/cm^3)	0,384	0,396	0,522
Alfa, α (cm^{-1})	0,030	0,017	0,004
n (-)	1,389	1,335	1,416
Conductividad hidráulica a saturación, K_s (cm/día)	32,32	20,44	15,66

Se consideró un dominio de flujo de 100 cm de profundidad y 33 cm de anchura, desde la vertical donde se encontraba el lateral de riego hasta la posición intermedia entre dos laterales. La discretización espacial se realizó con elementos triangulares de dimensión cercana a 0,1 cm en la zona más próxima al emisor hasta aproximadamente 2 cm en la zona

más alejada. En todas las simulaciones la condición inicial en todo el dominio fue de potencial matricial de -33 kPa, correspondiente a las condiciones en el ensayo de campo en el suelo de textura franco-arenosa. Para poder comparar los resultados en los otros escenarios simulados se tomaron las mismas condiciones iniciales. Las condiciones de contorno fueron de ausencia de flujo en los dos laterales del dominio, gradiente unitario de potencial en el fondo, ya que de acuerdo a las lecturas de los piezómetros la profundidad del acuífero fue siempre superior a 2 m, y una condición de contorno atmosférica en la superficie. En los elementos que representan el emisor se consideró una condición de flujo variable en el tiempo, en la que el caudal del emisor durante periodos de riego se obtuvo según:

$$F = \frac{q}{d \cdot \pi \cdot r} = \frac{24\,000 \frac{\text{cm}^3}{\text{día}}}{30 \cdot 2 \cdot \text{cm} \cdot \pi \cdot 0,85 \text{ cm}} = 149,8 \frac{\text{cm}}{\text{día}} \quad (4)$$

siendo F el flujo aplicado en la zona del emisor (cm/día); q el caudal del emisor (cm³/día); d la separación entre emisores (cm) y r el radio exterior de los laterales de riego (cm).



Figura 1. Dominio de flujo, posiciones de los sensores de contenido de agua (1, 2, 3 y 4) y condiciones de contorno. Los valores entre paréntesis indican la distancia horizontal respecto al lateral y la profundidad de los puntos, donde se monitorizó el contenido de agua.

Además de simular el ensayo de campo, se contemplaron los siguientes escenarios, que quedan recogidos en los casos A-V de la Tabla 2: 2 profundidades de los laterales de riego (15 y 25 cm) y 3 texturas de suelo distintas (arcillo-limosa, franca y franco-arenosa), característica de tres suelos de la zona arrocerá del *Baix Ter*. Cabe señalar que las profundidades consideradas para los laterales de riego son compatibles con las labores culturales previstas en el cultivo.

Las pautas de riego simuladas fueron: (1) pauta de riego practicado durante la campaña 2019 (casos A-C, Tabla 2); (2) riego basado estrictamente en la evapotranspiración del cultivo aplicando 3 frecuencias de riego distintas: 2 riegos al día, 1 riego diario y 1 riego cada 4 días (Casos D-V, Tabla 2).

Se consideraron los datos climáticos correspondientes a la temporada de riego 2019 desde la siembra (28/05) a la cosecha (18/10). La evapotranspiración del cultivo (ET_c) se determinó según la ecuación:

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c \quad (5)$$

siendo el K_c el coeficiente de cultivo que se determinó para la zona de referencia a partir de los valores sugeridos por la FAO (Allen *et al.*, 2006).

El código HYDRUS requiere introducir la evaporación y transpiración como dos términos independientes, ya que la evaporación se trata como una condición de contorno en superficie y la transpiración como el término sumidero en la ecuación de Richards. Para un cultivo que no cubra la totalidad de la superficie, lo que sucedió entre el momento de siembra y 70 días después, la evapotranspiración potencial se divide entre la evaporación potencial (E_p) y la transpiración potencial (T_p). La partición de estos dos términos se realizó mediante el índice de área foliar (LAI), siguiendo el procedimiento descrito en el modelo SWATRE y utilizando las ecuaciones (Belmans *et al.*, 1983):

$$E_p = ET_c \cdot e^{-K_{gr} \cdot LAI} \quad (6)$$

$$T_p = ET_c - E_p \quad (7)$$

El coeficiente para la radiación solar global en arroz (K_{gr}) se tomó de 0,3 de acuerdo a los trabajos de Phogat *et al.* (2010) y Li *et al.* (2014). Los valores del LAI se determinaron en función del estadio fenológico a partir de los valores medidos en la misma parcela y con la misma variedad de arroz durante la campaña de riego del año 2018. En los periodos simulados en los que no hubo cultivo se consideró que la evaporación potencial era igual a la ET_0 .

La extracción de agua por el cultivo se determinó de acuerdo a las ecuaciones propuestas por Feddes (1982) y con los parámetros de respuesta optimizados para el cultivo del arroz obtenidos por Singh *et al.* (2003), y aplicados entre otros por Li *et al.* (2014). Se consideró que la extracción de agua se localizó en la profundidad donde se desarrolla el sistema radicular del arroz, siendo más intensa en la zona más superficial y disminuyendo hasta alcanzar la profundidad máxima de las raíces, que fue de 25 cm, de acuerdo con las observaciones realizadas en ensayos de campo a lo largo de la campaña de riego.

3.3.- Validación del modelo de simulación

El modelo HYDRUS 2D se validó previamente comparando los contenidos de agua en el suelo simulados con los contenidos de agua medidos en la parcela experimental en las posiciones descritas en el apartado 3.1. La validación corresponde al periodo de la campaña de riego y después de la cosecha, desde el día 01/07/2019, cuando se instalaron los sensores, hasta el día 22/01/2020. Para cuantificar la bondad de predicción del modelo se calcularon la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el coeficiente de determinación (R^2).

3.4.- Balance de agua, relación entre evapotranspiración y entradas de agua y percolación a 0,3 m de profundidad

La simulación de la dinámica de agua en el suelo en la parcela experimental y en los escenarios considerados permitió realizar el balance de agua durante todo el periodo de cultivo (desde el día de siembra hasta la recolección, un total de 144 días), considerando las entradas de agua, lluvia y riego, así como las salidas, drenaje por debajo de 1 m y la evapotranspiración del cultivo. Además, también se calculó: la variación de la reserva de agua en todo el perfil, el error en el balance de masas del modelo y el agua que drenó por debajo de 0,3 m de profundidad, que se consideró no aprovechable por el cultivo, debido a la profundidad del sistema radicular. También se determinó la relación entre la evapotranspiración calculada por el modelo y las entradas de agua en el perfil del suelo. Esta relación indicaría el porcentaje de agua aprovechable por la planta en relación a las

aportaciones de agua por riego y lluvia, siendo deseable maximizar su valor para aumentar la eficiencia del uso del agua por la planta.

4- Resultados y discusión

4.1.- Campaña de riego en la parcela experimental

Se analiza en este apartado la idoneidad de la pauta de riego seguida durante la campaña de cultivo. De acuerdo con la Figura 2, se observa que el agua aportada por riego durante las 3 primeras semanas fue superior a la demanda evapotranspirativa. El motivo se encuentra en la necesidad de favorecer la germinación de las semillas después de la siembra. Del día 15 hasta el 70 DDS (12/06/2019 al 06/08/2019), se regó con el objetivo de mantener el contenido de agua en el sensor 2 (Figura 1) a $0,27 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, correspondiente a un potencial matricial de -10 kPa , resultando que el agua de riego aplicada fue inferior a la demanda del cultivo (ET_c) (Figura 2). Para corregir este problema, se modificó la pauta de riego desde el día 70 al 123, periodo en que se aportó una dosis de riego ligeramente superior a las extracciones determinadas a partir de la ET_c y, consecuentemente, a partir del día 84 el riego acumulado volvió a igualar la ET_c acumulada (Figura 2). A partir del día 123 y hasta el día 140 se dejó de regar ya que el cultivo alcanzó la madurez fisiológica y lo que interesaba era reducir la humedad del grano para poder cosechar lo antes posible.

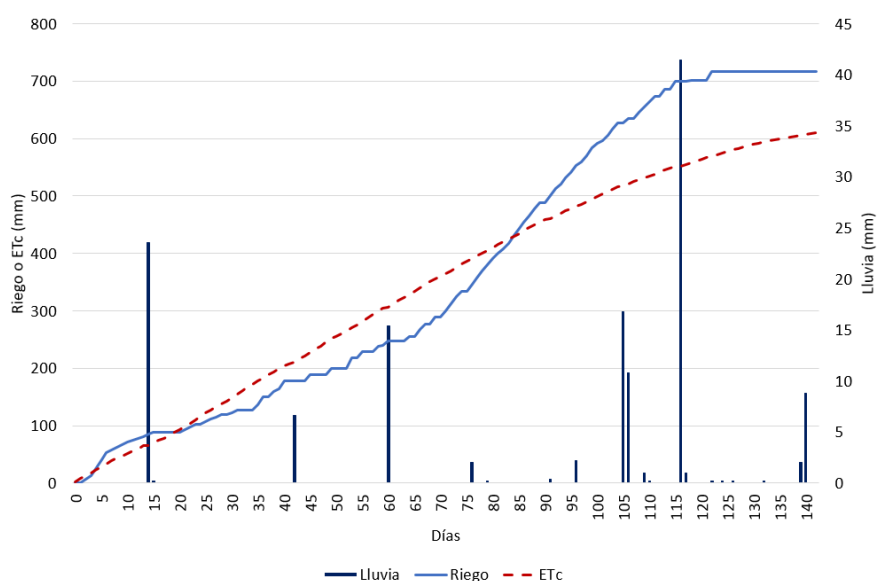


Figura 2. Riego y evapotranspiración del cultivo (ET_c) acumulados a lo largo de la campaña de riego y eventos de precipitación.

Los contenidos de agua en el suelo observados en las distintas posiciones respecto al lateral de riego (Figura 1) se muestran en la Figura 3. El potencial matricial a 8 cm del lateral de riego y a 10 cm de profundidad se encontró por encima de -10 kPa (correspondiente a un contenido volumétrico de $0,27 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) durante todo el periodo de cultivo (de 34 a 140 días DDS), por lo que no debería suponer una reducción en la producción potencial del arroz (Bouman *et al.*, 2005). A la misma distancia del lateral pero a 25 cm de profundidad, el potencial matricial estuvo por debajo de -20 kPa (correspondientes a $0,21 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) prácticamente durante todo el ciclo del cultivo. Con este valor son esperables reducciones notables de la producción (Cabangon *et al.*, 2003).

En las posiciones más alejadas del lateral de riego (posiciones 3 y 4), el potencial matricial también estuvo por debajo de -20 kPa entre los días 34 y 70 DDS, coincidiendo con

los días en que se regó con una dosis inferior a la ET_c , siendo esperable que el cultivo se viera gravemente afectado en la zona situada entre dos laterales de riego.

4.2.- Validación del modelo

La comparación de los contenidos de agua simulados y observados en la parcela experimental mostró una evolución similar, con valores de la raíz del error cuadrático medio (RMSE) de entre $0,028 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ y $0,064 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ y coeficientes de determinación (R^2) entre 0,61 y 0,74. Los valores de estos estadísticos son similares a los obtenidos en anteriores trabajos en los que se comparaba el contenido de agua observado y simulado, en suelo sin cultivo (Skaggs *et al.* 2004); en una plantación de manzanos (Arbat *et al.* 2008) y en experimentos a escala de laboratorio (Kandelous y Šimůnek 2010). En el presente estudio los RMSE más elevados se encuentran en la zona más alejada del lateral de riego, donde el contenido de agua simulado fue sistemáticamente superior al simulado con HYDRUS-2D. Estas diferencias podrían ser debidas a que el modelo no consideró la presencia de malas hierbas. En concreto, la población de *Digitaria* sp, que fue elevada durante y fuera del periodo de cultivo, y que, a diferencia del arroz, podrían continuar extrayendo agua a potenciales más bajos que los del arroz y dispone de un sistema radicular más profundo.

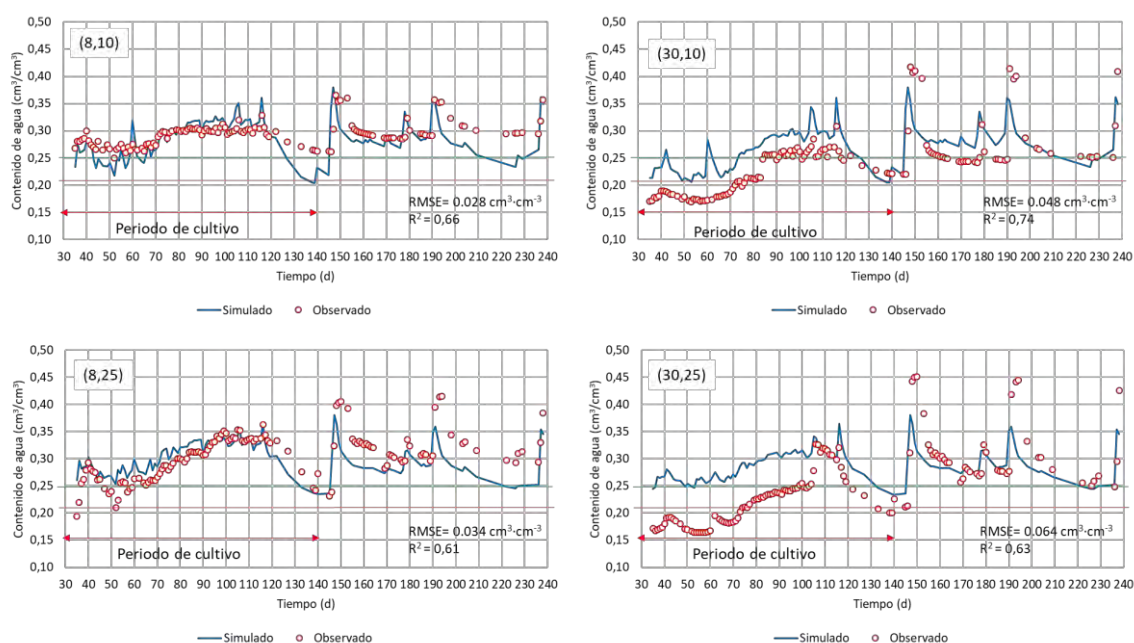


Figura 3. Comparación de los contenidos de agua simulados y observados en las 4 posiciones relativas al lateral de riego. En el eje horizontal la escala de tiempo indica los DDS, el 28/05/2019 correspondería al día 0. En el eje vertical se presenta el contenido volumétrico de agua correspondiente a: -20 kPa —; y -10 kPa —.

4.3.- Componentes del balance de agua y percolación a 0,3 m de profundidad

En la Tabla 1 se muestran las variables que determinan el balance de agua, la percolación por debajo de 0,3 m, el error y algunas relaciones derivadas para cada uno de los casos analizados, tal como se describen en el apartado 3.4.

Tabla 2. Componentes del balance de masas (mm) simulados en 1 m de profundidad del perfil del suelo, error en el balance de masas (mm), relación entre la *ET* y las entradas de agua, y drenaje por debajo de la profundidad máxima de raíces (0,3 m).

Caso	Textura	Prof. lateral	Pauta de frecuencia de riego		Entradas		Salidas		VR (mm)	EB (mm)	ET/R+LI (%)	P _{0.3 m} (mm)
					R (mm)	LI (mm)	ET _{simulada} (mm)	P _{1 m} (mm)				
A	Franco-arenosa	15	Practicada en el ensayo		739	129	-489	-337	-45	-2	56	370
B	Franca	15			740	129	-520	-324	-29	-4	60	339
C	Arcillo-limosa	15			740	129	-545	-368	39	-5	63	339
D	Franco-arenosa	15	ETC	2 veces al día	603	133	-515	-148	-76	-4	70	201
E				1 vez por día	603	132	-511	-148	-77	-2	70	201
F				Cada 4 días	604	126	-491	-162	-77	-1	67	215
G		25		2 veces al día	603	133	-449	-220	-73	-6	61	269
H				1 vez por día	602	132	-444	-221	-72	-3	60	271
I				Cada 4 días	604	126	-427	-231	-74	-2	58	284
J	Franca	15		2 veces al día	603	133	-553	-129	-59	-5	75	170
K				1 vez por día	606	132	-549	-128	-60	0	74	168
L				Cada 4 días	604	126	-533	-137	-60	-1	73	178
M		25		2 veces al día	603	133	-511	-176	-57	-8	70	213
N				1 vez por día	602	132	-506	-175	-56	-2	69	214
O				Cada 4 días	604	126	-492	-181	-58	-1	67	222
P	Arcillo-limosa	15		2 veces al día	603	133	-544	-221	17	-12	74	209
Q				1 vez por día	603	132	-544	-218	15	-12	74	205
R				Cada 4 días	604	126	-537	-213	15	-5	74	201
S		25		2 veces al día	603	133	-536	-229	17	-12	73	214
T				1 vez por día	602	132	-535	-229	19	-11	73	214
V				Cada 4 días	604	126	-531	-219	16	-4	73	209

R: Riego, LI: Lluvia, ET: Evapotranspiración simulada, P_{1m}: Percolación a 1 m de profundidad; VR: Variación de la reserva (negativa cuando aumenta el contenido), EB: Error en el balance de masas, ET/(R+LI): Porcentaje que representa la evapotranspiración del cultivo simulada respecto a las entradas de agua en el suelo (R+LI), P_{0,3 m}: Percolación por debajo de 0,3 m.

El error en el balance de masas (*EB*) calculado como: $[Entradas + Salidas + VR]$ en las simulaciones realizadas con HYDRUS 2D fueron mínimos, con un valor de 12 mm en el caso en el que fue máximo, que corresponde a un error porcentual, definido como $[\frac{EB}{R+LI} \cdot 100]$, inferior al 1,7%. Estos valores son ligeramente inferiores a los publicados por Li *et al.* (2014), donde se empleó el modelo HYDRUS-1D en arroz regado por inundación. En general, los

errores en el balance de masas fueron superiores en las simulaciones con suelo de textura arcillo-limosa.

La ET_c acumulada calculada según Penman-Monteith a lo largo de los 240 días del ciclo de cultivo fue de 642 mm (Figura 2), mientras el valor simulado con HYDRUS-2D estuvo entre un 66 y un 86 % con respecto a este valor. La ET simulada fue mayor en las texturas arcillo-limosa y franca que en la franco-arenosa y, en general, disminuyó al reducir la frecuencia entre riegos y la profundidad del emisor, especialmente en las texturas de suelo más ligeras. La mayor ET simulada en el suelo con textura franca que en el suelo con textura franco-arenosa (casos A y B – Tabla 1) podría explicar la mayor producción obtenida en la parte del campo en la que el suelo tenía textura franca, tal y como se muestra en el apartado 4.4. Por otro lado, el agua que drena por debajo de 0,3 m de profundidad fue superior en el suelo con textura franco-arenosa que en los suelos con textura franca y arcillo-limosa, lo cual explica que la evapotranspiración simulada y la relación $ET/(R+LL)$ fuesen superiores.

Cuando se regó restituyendo la evapotranspiración del cultivo (casos D-V) y la profundidad del lateral fue de 15 cm (D, E, F, J, K, L, P, Q y R), se observó un incremento en la proporción entre agua evapotranspirada con respecto al agua aportada $ET/(R+LL)$ en relación con la pauta y frecuencia de riego practicada en el ensayo experimental (A, B, y C) fuera cual fuera la textura o frecuencia de riego seguida. Esto indicaría que regar siguiendo el criterio de restituir la evapotranspiración hubiera mejorado el aprovechamiento del agua.

En relación con la frecuencia de riego seguida, prácticamente no tuvo una influencia en la ET simulada en el caso de textura arcillo-limosa (P-V). En cambio, se observó un ligero incremento de la relación $ET/(R+LL)$ al aumentar la frecuencia de riego en las texturas franco-arenosa y franca, del mismo modo que el incremento de la frecuencia redujo el drenaje por debajo de los 0,3 m de profundidad. La menor capacidad de retención de agua de los suelos con textura más ligera explicaría los resultados obtenidos.

Cuando se comparan las 2 profundidades de lateral de riego, en un suelo de textura franco-arenosa, para una misma frecuencia de riego, se observa que la profundidad de 15 cm redujo el drenaje por debajo de los 30 cm e incrementó la relación $ET/(R+LL)$ y consecuentemente el aprovechamiento del agua por la planta. Esto también sucedió en los suelos con textura franca y arcillo-limosa, aunque en menor medida.

4.4.-Producción y productividad del agua

La producción en el campo de ensayo mostró dos zonas bien diferenciadas, que podrían explicarse por las diferencias en la textura del suelo existente en la parcela. En la zona de textura franco-arenosa la producción fue significativamente menor ($p < 0,05$) que en la zona con una textura franca, 734 kg/ha y 5363 kg/ha, respectivamente. Como se comentó en el apartado 4.1, los contenidos de agua que se midieron en la parte de textura franco-arenosa, correspondieron a valores de potencial matricial de -20 kPa, e incluso inferiores en la zona más alejada del lateral de riego, durante el periodo de 34 a 70 DDS, correspondiente a los estadios de macollamiento e inicio de floración. Debido a que este periodo resulta especialmente sensible a la falta de agua, esto explicaría la baja producción obtenida en las partes de la parcela con textura franco-arenosa. Además, la poca disponibilidad de agua en la zona situada entre laterales en el suelo franco-arenoso (posición 3 en la Figura 1), pudo dar una ventaja competitiva a las malas hierbas que tienen la capacidad de desarrollarse a pesar de disponer de poca agua en el suelo. Sin embargo, la producción de 5363 kg/ha y la productividad del agua (WP_{R+LL}) de 0,62 kg/m³ en la zona de textura franca, es similar a la que se obtuvo en ensayos de campañas anteriores utilizando el riego por goteo superficial en un suelo con textura arcillo-limosa y un acuífero muy somero (Tabla 3), en la que se obtuvieron 5565 kg/ha y una WP_{R+LL} de 0,60 kg/m³ (Arbat *et al.*, 2018).

En la Tabla 3 se muestran las productividades del agua de riego en el ensayo actual en RGS y los resultados obtenidos en riego por goteo superficial y enterrado durante la campaña 2017 en la misma zona (Arbat *et al.*, 2018).

Tabla 3. Producción, productividad del agua de riego (WP_R) y de lluvia y riego (WP_{R+LI}) en riego RGS, riego por goteo superficial y riego por inundación

	Producción (kg/ha)	WP_R	WP_{R+LI}
RGS-2019 (Ensayo actual)	5363	0,73	0,62
Riego por goteo-2017 (Arbat <i>et al.</i> , 2018)	5565	0,72	0,60
Riego por inundación 2017 (Arbat <i>et al.</i> , 2018)	6486	0,46	0,42

En riego por inundación continua y siembra en seco los mismos autores reportaron una producción de 6486 kg/ha y una WP_{R+LI} de 0,42 kg/m³. Aunque en riego por inundación la producción fue un 16% superior al RGS, la WP fue similar a la del riego por goteo superficial y representó un incremento de más del 40% en la WP_{R+LI} respecto al riego por inundación, por lo que el sistema de riego por goteo enterrado podría tener interés en situaciones donde el agua es un factor limitante y los suelos no son salinos.

Entre los pocos trabajos publicados de arroz regado por RGS, Rajwade *et al.*, (2018) en un suelo de textura franco-arenosa obtuvieron producciones de entre 1881 y 5074 kg/ha y WP_{R+LI} entre 0,23 y 0,61 kg/m³. Parthasarathi *et al.* (2018) en un suelo de textura arcillo-limosa obtuvo producciones de 5600 kg/ha con WP_{R+LI} de 0,86 kg/m³. Si bien las producciones máximas reportadas por estos autores fueron muy similares entre sí y con la obtenida en el presente trabajo, existe una gran diferencia entre los valores de WP , que podrían ser debidas a la textura del suelo, ya que en general los suelos con mayor contenido en arena requieren dotaciones de riego superiores para que el agua del procedente del emisor pueda llegar al sistema radicular.

5- Conclusiones y Recomendaciones

Para aprovechar al máximo el potencial del riego por goteo subterráneo es necesario optimizar el diseño y los parámetros de manejo, destacando entre estos la profundidad de los emisores y la frecuencia de riego. Los valores del RMSE y R^2 obtenidos comparando los contenidos de agua medidos en campo y simulados con HYDRUS-2D mostraron una predicción razonablemente buena, indicando que las simulaciones numéricas pueden ser:

(1) Una herramienta útil para optimizar el diseño y el manejo en RGS teniendo en cuenta las propiedades hidráulicas de los suelos, así como, (2) Predecir la percolación de agua. Los resultados de las simulaciones aplicadas al cultivo del arroz en la zona del *Baix Ter* en todas las texturas de suelo consideradas permiten establecer que la profundidad más adecuada para minimizar las pérdidas de agua por percolación y maximizar la extracción de agua por el cultivo es la de 15 cm con una frecuencia de riego elevada, de uno o dos riegos por día.

Por otro lado el criterio de riego basado en un umbral de potencial matricial presenta un punto crítico en la situación del punto de medida. Efectivamente, la gestión del riego basada en mantener un determinado potencial/contenido de agua en una posición demasiado cercana al lateral portaemisores condujo a un riego insuficiente. En este sentido las simulaciones con HYDRUS-2D podrían resultar muy útiles para determinar la localización más apropiada de los sensores para poder gestionar de forma eficiente el RGS en arroz.

6.- Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al programa Europeo para la Investigación e Innovación Horizonte 2020- PRIMA, la financiación recibida en el marco del proyecto titulado "Hacia un uso sostenible del agua en los agro-ecosistemas Mediterráneos basados en el arroz (MEDWATERICE)", con referencia: PCI2019-103738. Asimismo, quieren agradecer a la empresa NETAFIM el apoyo técnico recibido en la realización del presente ensayo.

7- Bibliografía

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo - Guías para la determinación de las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. FAO, Roma.
- Arbat, G., Parals, S., Duran-Ros, M., Pujol, J., Puig-Bargués, J., & Ramírez de Cartagena, F. (2018). *Dinámica del agua en el suelo, productividad del agua y economía en riego por inundación y goteo en arroz*. 19(1), 1-10. <https://doi.org/10.25028/cnriegos.2018.a19>
- Arbat, G., Puig-Bargués, J., Barragán, J., Bonany, J., & Ramírez de Cartagena, F. (2008). Monitoring soil water status for micro-irrigation management versus modelling approach. *Biosystems Engineering*, 100(2), 286-296. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.02.008>
- Belmans, C., Wesseling, J. G., & Feddes, R. A. (1983). Simulation model of the water balance of a cropped soil: SWATRE. *Journal of Hydrology*, 63(3-4), 271-286. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(83\)90045-8](https://doi.org/10.1016/0022-1694(83)90045-8)
- Bouman, B. A. M., Peng, S., Castañeda, A. R., & Visperas, R. M. (2005). Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. *Agricultural Water Management*, 74(2), 87-105. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.11.007>
- Cabangon, R., Lu, G., Tuong, T. P., Bouman, B. A. M., Feng, Y., & Zhang, Z. C. (2003). Irrigation Management Effects on Yield and Water Productivity of Inbred and Aerobic Rice Varieties in Kaifeng. *Proceedings of the 1st International Yellow River Forum on River Basin Management, Vol II*, 65-75.
- Kandelous, M. M., & Šimůnek, J. (2010). Comparison of numerical, analytical, and empirical models to estimate wetting patterns for surface and subsurface drip irrigation. *Irrigation Science*, 1-10.
- Li, Y., Šimůnek, J., Jing, L., Zhang, Z., & Ni, L. (2014). Evaluation of water movement and water losses in a direct-seeded-rice field experiment using Hydrus-1D. *Agricultural Water Management*, 142, 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.04.021>
- MAPA. (2020). *Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos 2019*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Phogat, V., Yadav, A. K., Malik, R. S., Kumar, S., & Cox, J. (2010). Simulation of salt and water movement and estimation of water productivity of rice crop irrigated with saline water. *Paddy and Water Environment*, 8(4), 333-346. <https://doi.org/10.1007/s10333-010-0213-7>
- Reyes-Esteves, R. G., & Slack, D. C. (2019). Modeling Approaches for Determining Appropriate Depth of Subsurface Drip Irrigation Tubing in Alfalfa. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 145(10), 1-7. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001409](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001409)
- Schaap, M. G., Leij, F. J., & van Genuchten, M. T. (2001). Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of Hydrology*, 251(3-4), 163-176. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00466-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00466-8)
- Šimůnek, J., van Genuchten, M. T., & Šejna, M. (2008). Development and Applications of the HYDRUS and STANMOD Software Packages and Related Codes. *Vadose Zone Journal*, 7(2), 587. <https://doi.org/10.2136/vzj2007.0077>
- Skaggs, T. H., Trout, T. J., Simunek, J., & Shouse, P. J. (2004). Comparison of HYDRUS-2D Simulations of Drip Irrigation with Experimental Observations. En *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* (Vol. 130, Número 4, pp. 304-310).
- van Genuchten, M. T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. En *Soil Science Society of America Journal* (Vol. 44, Número 5, pp. 892-898).
- Zheng, J., Wang, W., Ding, Y., Liu, G., Xing, W., Cao, X., & Chen, D. (2020). Assessment of climate change impact on the water footprint in rice production: Historical simulation and future projections at two representative rice cropping sites of China. *Science of the Total Environment*, 709, 136190. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136190>

A-17-2020

SISTEMAS DE CULTIVO EN LIMEROS: EFECTOS EN LA PRODUCCIÓN Y CRECIMIENTO

Mira-García, A.B.(P), Conejero, W., Vera, J., Ruiz-Sánchez, M.C.

Departamento de Riego. CEBAS-CSIC. Campus Universitario de Espinardo, Apartado 164, 30100 Murcia, España.

abmira@cebas.csic.es; wenceslao@cebas.csic.es; jvera@cebas.csic.es; mcruiz@cebas.csic.es

Resumen

El objetivo principal del trabajo es el de evaluar los efectos de diferentes sistemas de cultivo: al aire libre (en meseta, sin meseta) y bajo malla de sombreado, en la producción y el crecimiento vegetativo de limeros (*Citrus latifolia* Tan., cv. Bearss) jóvenes. El ensayo se llevó a cabo durante dos campañas (2018 y 2019) en la finca experimental del CEBAS-CSIC en Murcia. El crecimiento vegetativo se evaluó con medidas del diámetro del tronco y del ancho y alto de copa, y el crecimiento de fruto con medidas de su diámetro ecuatorial. En el momento de la recolección se determinaron los kilos de fruta y número de frutos por árbol y se calculó el peso unitario medio del fruto. Los resultados obtenidos apuntan a que los árboles cultivados bajo malla de sombreado mostraron un mayor volumen de copa que los cultivados al aire libre, debido a una significativa mayor altura. La producción fue también mayor (aunque no significativa) en los árboles bajo sombreado, debido a un mayor tamaño de las limas durante la última fase de su crecimiento. La disminución de la radiación incidente en las condiciones de sombreado, propiciaron la creación de un microclima más favorable para la asimilación de carbono, lo que parece provocar unas mejores condiciones para el desarrollo vegetativo de los árboles y la producción de limas de calidad.

1) Introducción

España es el productor de cítricos más importante de la Unión Europea, con 7528 Mt, y el primer exportador en el mundo (4,1 Mt) (FAO, 2017). En el territorio nacional, la producción cítrica se concentra en la Comunidad Valenciana (4,1 Mt), Andalucía (2,3 Mt) y la Región de Murcia (1 Mt) (MAPA, 2019). En la Región de Murcia tradicionalmente la especie por excelencia es el limón, representando el 64% de la producción cítrica total (CARM, 2018), aunque en los últimos años otras especies cítricas como la lima están diversificando la oferta cítrica de la región. Prueba de ello es que en los últimos 5 años la producción de lima ha aumentado en más de un 25% (CREM, 2019) convirtiendo este cultivo en una potencial alternativa a los cultivos cítricos tradicionales.

La elección del sistema de cultivo en nuevas plantaciones es un factor clave que condicionará todas las operaciones culturales futuras y que puede afectar al crecimiento vegetativo, así como a la producción (Manja and Aoun, 2019; Mditshwa et al., 2019). El cultivo bajo malla comúnmente se orienta a sombrear y proteger los árboles ante situaciones de estrés abiótico (altas temperaturas, excesiva radiación, etc.), o de cualquier inclemencia meteorológica. A su vez, los cambios en el microclima producidos por el sombreado pueden inducir modificaciones en el comportamiento fisiológico de la planta. En varios estudios se han observado aumentos en la conductancia estomática y en la asimilación de CO₂ (Medina et al., 2002), así como en la capacidad fotosintética de las plantas cultivadas bajo malla de sombreado (Incesu et al., 2016; Zhou et al., 2018). Estas modificaciones en el comportamiento fisiológico se traducen en cambios en la eficiencia en el uso del agua (Alarcón et al., 2006)

afectando al crecimiento vegetativo (García-Sánchez et al., 2015), así como a la producción y el rendimiento del cultivo (Wachsmann et al., 2014).

2) Objetivo

El objetivo principal del trabajo es evaluar el efecto de diferentes sistemas de cultivo: aire libre (cultivo en meseta, sin meseta) y con malla de sombreo, sobre la producción y el crecimiento vegetativo de limeros jóvenes regados por goteo en las condiciones mediterráneas del sureste español.

3) Material y Métodos

El ensayo se llevó a cabo en los años 2018 y 2019 en la finca experimental del CEBAS-CSIC en Santomera (Murcia), en una parcela de 1,2 ha. El suelo es pedregoso, altamente calcáreo (45% de carbonato cálcico), de textura franco-arcillosa (capacidad de campo y punto de marchitez 0.32 y 0.14 m³ m⁻³, respectivamente) y con un bajo contenido en materia orgánica. El material vegetal empleado fueron limeros (*Citrus latifolia* Tan., cv. Bearss) de 3 años de edad, injertados sobre *Citrus macrophylla* L., con un marco de plantación de 6 m x 5 m. El sistema de riego localizado consistió en una doble línea portagoteros, con 4 goteros autocompensantes de 4 L h⁻¹ por árbol, situados equidistantes a 0,75 m del tronco. Las necesidades hídricas de la plantación se determinaron con un protocolo de riego automático basado en la reposición del stock hídrico del suelo, con un agotamiento permisible del 10% (Vera et al., 2019). Para ello se emplearon sondas capacitivas (EnviroPro®, Entelechy Pty. Ltd., Golden Grove, Australia) instaladas a 0,1 m del emisor más cercano al tronco, en 4 árboles. Las sondas permitían monitorizar en continuo el contenido volumétrico de agua en el perfil 0-0,8 m del suelo y actuar en la apertura/cierre de las electroválvulas. El sistema de telemetría tomaba lecturas cada 5 min y registraba valores cada 15 min. Las unidades de radio-transmisión enviaban datos al servidor web addVANTAGE (ADCON Telemetry, Austria) para el procesamiento y la visualización de los datos.

Se establecieron tres sistemas de cultivo:

- 1) Meseta-aire libre (MESETA): los árboles estaban plantados en mesetas (2 m de ancho y 0,4 m de alto) al aire libre (Figura 1A).
- 2) Meseta-malla de sombreo (SOMBREO): los árboles estaban plantados en mesetas (2 m ancho y 0,4 m alto), dentro de un umbráculo de 4,5 m de altura, con techo de tipo zig-zag. La malla empleada era de polietileno de alta densidad, con un coeficiente de sombreo del 24% y una porosidad del 58,4% (Figura 1B).
- 3) Sin meseta-aire libre (SIN MESETA): los árboles estaban plantados directamente sobre el suelo al aire libre (Figura 1C).



Figura 1. Vista general de limeros (*Citrus latifolia* Tan., cv. Bearss) jóvenes en los diferentes sistemas de cultivo: meseta-aire libre (A) meseta-malla de sombreo (B) y sin meseta-aire libre (C).

Cada sistema de cultivo fue evaluado en parcelas independientes de 60 m x 40 m, que contaban con un total de 5 filas de árboles con 12 árboles por fila (60 árboles en total). Las medidas fueron tomadas en 8 árboles de las filas centrales de cada sistema de cultivo, el resto fueron considerados árboles bordes.

Durante los dos ciclos de cultivo, en los árboles objeto de estudio se realizaron medidas periódicas del crecimiento vegetativo: diámetro del tronco ($\varnothing_{\text{tronco}}$) a 0.30 m del suelo, con un pie de rey (Codimex-C100cm, Canadá), longitud de brotes, con cinta métrica en brotes marcados y alto y ancho de copa, con jalones, determinando el volumen de la copa de los limeros (asimilado a un cilindro). Además, quincenalmente, en los mismos árboles se midió el diámetro ecuatorial del fruto, con un calibre digital (Mitutoyo, CD-15D), en 100 frutos elegidos al azar en cada sistema de cultivo (25 frutos árbol⁻¹). En el momento de la recolección (finales de agosto de 2018 y 2019) se determinó la producción en los 8 árboles testigo de cada uno de los sistemas de cultivo, evaluando la carga productiva (kg árbol⁻¹) con una balanza de precisión y el número de frutos por árbol, obteniéndose el peso unitario medio del fruto.

Para evaluar el estado hídrico de las plantas se realizaron medidas discretas (cada 10-15 días, durante el periodo experimental) del potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallo}) así como del intercambio gaseoso foliar: fotosíntesis neta (F_n) y conductancia estomática (g_s), en 1-2 hojas por árbol y en 4 árboles por sistema de cultivo. El Ψ_{tallo} se midió a mediodía solar, con una cámara de presión (Soil Moisture Equipment Corp., Model 3000) en hojas sanas, maduras, localizadas en la cara norte del árbol y cerca del tronco. Estas hojas fueron tapadas al menos dos horas antes de la medida, siguiendo las recomendaciones de Hsiao (1990). El intercambio gaseoso se determinó con un medidor portátil de fotosíntesis (LI-6400, Li-Cor, Lincoln, NE, USA) a primera hora de la mañana (\approx 8:00 hora solar) en hojas maduras, soleadas situadas en la cara sur del árbol.

4) Resultados y Discusión

Las medidas de los indicadores del estado hídrico (potencial hídrico de tallo e intercambio gaseoso) presentaron valores que aseguraban un óptimo estado hídrico de los árboles ($\Psi_{\text{tallo}} > -0.9$ MPa, $g_s \approx 50$ mmol m⁻² s⁻¹) durante todo el ensayo, en los tres sistemas de cultivo estudiados (datos no mostrados).

4.1.) Crecimiento vegetativo

La dinámica anual del crecimiento vegetativo de los limeros fue muy similar en los dos años y en todos los sistemas de cultivo estudiados, tanto para el diámetro del tronco, brotes (datos no mostrados), como para el volumen de copa (Figura 2). Es de destacar que las velocidades máximas de crecimiento tuvieron lugar tras la recolección de las limas (a finales de agosto) en ambos ciclos de cultivo. Este hecho demuestra la competencia por los foto-asimilados entre el crecimiento vegetativo y el del fruto (Berman y DeJong, 2003), de tal manera que la ausencia de frutos favorece el crecimiento del árbol.

El crecimiento en diámetro del tronco fue similar, sin diferencias significativas entre los sistemas de cultivo durante los dos años estudiados, tal y como se puede observar en la Tabla 1, con un valor medio de 4,6 y 6,9 cm en 2018 y 2019, respectivamente.

El tamaño de los árboles durante 2018 fue similar en las plantas cultivadas bajo malla de sombreo y al aire libre, con valores medios de alto, ancho y el volumen de copa de 2,3 m, 2,5 m y 11,4 m³, respectivamente (Tabla 1). Sin embargo, en 2019 se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas de cultivo, de forma que los limeros cultivados bajo malla de sombreo mostraron una mayor altura y volumen de copa, con valores de 2,98 m y 20,33 m³ respectivamente. El valor del volumen de copa fue un 14 y 17% mayor que el de las plantas cultivadas al aire libre (en meseta y sin meseta, respectivamente) (Tabla 1), con diferencias estadísticamente significativas desde junio 2019 (Figura 2B).

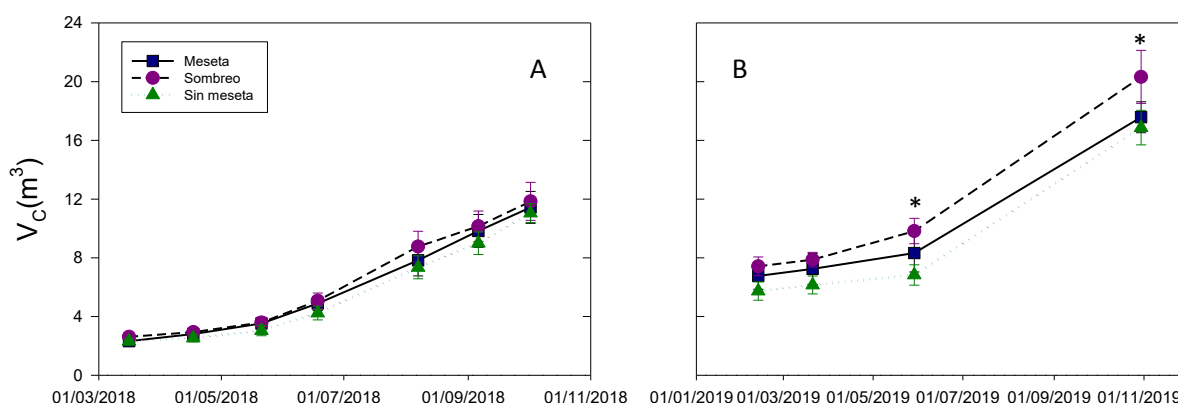


Figura 2. Evolución estacional del volumen de copa (V_c) de limeros Bearss en los distintos sistemas de cultivo: Meseta (■), Sombreo (●) y Sin Meseta (▲). 2018 (A) y 2019 (B). Cada punto corresponde a la media de 4 repeticiones \pm error estándar.

En este sentido, Wachsmann et al., (2014) también observaron un volumen de copa mayor en cítricos cultivados bajo malla de sombreado, incrementos que oscilaron entre $6 m^3$ y $18 m^3$ dependiendo del color de la malla, con respecto a los cultivados al aire libre. Una tendencia similar se ha observado en otros cultivos no cítricos como pera (Alaphilippe et al., 2016) o viña (Corvalán et al., 2016). En nuestro ensayo, el mayor volumen de copa fue debido a una mayor ($p < 0.001$) altura de los árboles cultivados bajo malla de sombreado, tal y como apuntan estudios realizados en limón 'Fino 49' (García-Sánchez et al., 2015) y naranja 'Valencia' (Zhou et al., 2018), pues en los cítricos en general se favorece el crecimiento de los brotes en sentido vertical.

Tabla 1. Crecimiento vegetativo: diámetro del tronco ($\varnothing_{\text{tronco}}$), alto, ancho y volumen de copa (V_{copa}) en limeros jóvenes Bearss en los distintos sistemas de cultivo (2018 y 2019).

Crecimiento	Sistema	2018	2019	Δ 2018/2019
$\varnothing_{\text{tronco}}$ (cm)	MESETA	$4,76 \pm 0,17$	$6,95 \pm 0,24$	2,19
	SOMBREO	$4,57 \pm 0,18$	$6,80 \pm 0,19$	2,23
	SIN MESETA	$4,49 \pm 0,09$	$6,88 \pm 0,19$	2,39
	Significación (p)	ns	ns	
Alto _c	MESETA	$2,27 \pm 0,08$	$2,55 \pm 0,13$ b	0,28
	SOMBREO	$2,33 \pm 0,09$	$2,98 \pm 0,14$ a	0,65
	SIN MESETA	$2,34 \pm 0,10$	$2,50 \pm 0,09$ b	0,16
	Significación (p)	ns	***	
Ancho _c	MESETA	$2,54 \pm 0,11$	$2,97 \pm 0,08$	0,43
	SOMBREO	$2,53 \pm 0,10$	$2,94 \pm 0,13$	0,41
	SIN MESETA	$2,46 \pm 0,09$	$2,93 \pm 0,06$	0,47
	Significación (p)	ns	ns	
V_c (m^3)	MESETA	$11,44 \pm 1,09$	$17,58 \pm 1,05$ a	6,14
	SOMBREO	$11,85 \pm 1,29$	$20,33 \pm 1,81$ b	8,48
	SIN MESETA	$11,05 \pm 0,64$	$16,87 \pm 1,18$ a	5,82
	Significación (p)	ns	*	

Los valores son media de 8 árboles \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test de la MDS_{0,05}. ns, no significativo, *** $p \leq 0.001$, * $p \leq 0.05$.

4.1.) Producción

Los parámetros productivos de las limas en los dos años de estudio se muestran en la Tabla 2. Las plantas cultivadas bajo malla de sombreo mostraron una carga productiva (kg árbol^{-1}) ligeramente mayor a la de las plantas cultivadas al aire libre en ambos ciclos del cultivo ($\approx 6\%$ mayor, si bien sin diferencias significativas). El número de frutos por árbol, fue similar en las tres condiciones de cultivo durante ambos años. Sin embargo, el peso unitario del fruto fue mayor en estas plantas en ambos ciclos de cultivo, con diferencias estadísticamente significativas en el año 2019, cuando el peso unitario del fruto fue 16 g menor en las plantas cultivadas al aire libre. Estos resultados apuntan a que la mayor producción observada en las plantas bajo malla fue resultado de un mayor peso unitario del fruto y no de un mayor número de fruto por árbol. De esta manera, la carga productiva (kg árbol^{-1}) y el número de frutos por árbol están inversamente relacionados, tal y como indican García-Sánchez et al. (2015) en estudios realizados en limón Fino.

Nuestros resultados coinciden con los obtenidos en estudios realizados en naranja (Zhou et al., 2018) y mandarina (Wachsmann et al., 2014), en los que se observaron aumentos en la producción de las plantas cultivadas en condiciones de sombreo. Este aumento productivo podría ser consecuencia de que la malla de sombreo disminuye la radiación incidente, induciendo un microclima más favorable para la asimilación de CO_2 (Medina et al., 2002), aumentando la capacidad fotosintética (Incesu et al., 2016; Mira-García et al., 2020) y en definitiva la producción de foto-asimilados necesarios para el óptimo desarrollo del fruto.

El mayor peso unitario (Tabla 2) y diámetro ecuatorial (Figura 3) y longitudinal (datos no mostrados) de las limas cultivadas bajo malla de sombreo puede significar un adelanto en el tamaño comercial de la fruta y en la precocidad de la cosecha, con el consiguiente incremento de su rentabilidad económica.

Tabla 2. Parámetros productivos: kg árbol^{-1} , número de frutos por árbol y peso medio del fruto (g) de limas Bearss en los distintos sistemas de cultivo. 2018 y 2019.

Parámetro	Sistema	2018	2019
kg árbol⁻¹	MESETA	12,8 \pm 1,33	34,6 \pm 1,72
	SOMBREO	13,4 \pm 0,93	36,8 \pm 1,12
	SIN MESETA	12,6 \pm 2,75	35,7 \pm 1,27
	Significación(p)	ns	ns
Nº frutos árbol⁻¹	MESETA	154 \pm 16,40	481 \pm 23,16
	SOMBREO	152 \pm 4,90	419 \pm 20,71
	SIN MESETA	160 \pm 4,11	500 \pm 19,51
	Significación(p)	ns	ns
Peso medio	MESETA	82,93 \pm 1,66	72,11 \pm 0,34 b
	SOMBREO	88,51 \pm 0,92	88,12 \pm 1,96 a
	SIN MESETA	78,55 \pm 3,75	71,66 \pm 0,92 b
	Significación(p)	ns	***

Los valores son media de 4 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test de la MDS_{0,05}.

*** $p \leq 0.001$, ns: no significativo.

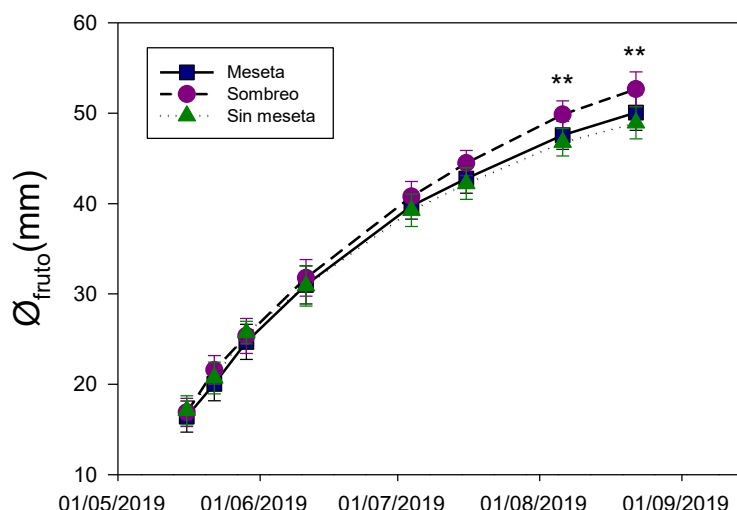


Figura 3. Evolución estacional del crecimiento de las limas Bearss (diámetro ecuatorial, mm) en los distintos sistemas de cultivo: Meseta (■), Sombreo (●) y Sin Meseta (▲). 2019. Cada punto corresponde a la media de 4 repeticiones \pm error estándar. **indica diferencias significativas entre los sistemas de cultivo $p < 0,01$.

5) Conclusiones

El patrón de crecimiento vegetativo (tronco, brotes y copa) de los limeros jóvenes fue similar en los tres sistemas de cultivo estudiados. Sin embargo, los árboles cultivados bajo malla de sombreado mostraron un mayor crecimiento de la copa y una mayor carga productiva y tamaño del fruto que los árboles cultivados al aire libre, tanto en meseta como sin meseta. Estos resultados apuntan a que la disminución de la radiación incidente, provocada por el tipo de malla, crea un microclima en el entorno de los árboles que favorece una mayor asimilación de carbono, promoviendo el crecimiento vegetativo del árbol y la producción de limas de calidad. El carácter juvenil de los árboles requiere continuar el ensayo para corroborar los resultados obtenidos.

6) Agradecimientos

El trabajo se ha financiado con los proyectos AGL2016-77282-C03-1R y PID2019-106226RB-C2-1 (Plan Nacional AEI-Fondos FEDER-UE) y 19903/GERM/15 (Ayudas Grupos de Alto Rendimiento, Fundación Séneca, Región de Murcia).

7) Bibliografía

- Alaphilippe, A., Capowiez, Y., Simon, S., Saudreau, M., Caruso, S., Vergani, S. (2016). Codling moth exclusion netting: an overview of French and Italian experiences. IOBC-WPRS Bulletin, 112, 31–35.
- Alarcón, J.J., Ortuño, M.F., Nicolás, E., Navarro, A., Torrecillas, A. (2006). Improving water-use efficiency of young lemon trees by shading with aluminised-plastic nets. Agricultural Water Management, 82, 387–398.
- Berman, M.E., DeJong, T.M. (2003). Seasonal patterns of vegetative growth and competition with reproductive sinks in peach (*Prunus persica*). Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 78, 303–309.
- Centro Regional de Estadística de Murcia (CREM) (2019). Estadísticas Agricultura, Ganadería, Selvicultura y Pesca. Evolución de la producción agrícola según tipo de cultivo 2018 [WWW Document]. URL <http://econet.carm.es/web/crem/inicio/-/crem/sicrem/PU590/sec23.html>
- Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medioambiente de la Región de

- Murcia (CARM) (2019). Estadística agraria 2018 [WWW Document]. URL [https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=1392&IDTIPO=100&RASTRO=c1415\\$m1174](https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=1392&IDTIPO=100&RASTRO=c1415$m1174)
- Corvalán, N., Bastías, R.M., Umanzor, C., Serra, I. (2016). Grapevine root and shoot growth responses to photoselective nets: Preliminary results. *Acta Horticulturae*, 1136, 89–94.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2017). Citrus Fruit: fresh and processed. Statistical Bulletin 2017 [WWW Document]. URL <http://www.fao.org/economic/est/est-commodities/citricos/es>
- García-Sánchez, F., Simón, I., Lidón, V., Manera, F.J., Simón-Grao, S., Pérez-Pérez, J.G., Gimeno, V. (2015). Shade screen increases the vegetative growth but not the production in 'Fino 49' lemon trees grafted on *Citrus macrophylla* and *Citrus aurantium* L. *Scientia Horticulturae*, 194, 175–180.
- Hsiao, T.C. (1990). Measurements of plant water status., En: B.A. Stewart and D.R. Nielsen (Eds.), *Irrigation of Agricultural Crops* (Monograph No. 30). American Society of Agronomy, Madison, pp. 243–279.
- Incesu, M., Yeşiloğlu, T., Çimen, B., Yilmaz, B. (2016). Effects of nursery shading on plant growth, chlorophyll content and PSII in 'Lane Late' navel orange seedlings. *Acta Horticulturae*, 1130, 301–305.
- Manja, K., Aoun, M. (2019). The use of nets for tree fruit crops and their impact on the production: A review. *Scientia Horticulturae*, 246, 110–122.
- Mditshwa, A., Magwaza, L.S., Tesfay, S.Z. (2019). Shade netting on subtropical fruit: Effect on environmental conditions, tree physiology and fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 256, 108556.
- Medina, C.L., Souza, R.P., Machado, E.C., Ribeiro, R. V., Silva, J.A.B. (2002). Photosynthetic response of citrus grown under reflective aluminized polypropylene shading nets. *Scientia Horticulturae*, 96, 115–125.
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA) (2018). Anuario de Estadística.
- Mira-García, A.B. Conejero, W., Vera, J., Ruiz-Sánchez, M.C. (2020). Leaf water relations in lime trees grown under shade netting and open-air. *Plants* (MDPI), 9, 510.
- Vera, J., Conejero, W., Conesa, M.R., Ruiz-Sánchez, M.C. (2019). Irrigation factor approach based on soil water content: a nectarine orchard case study. *Water*, 11, 589.
- Wachsmann, Y., Zur, N., Shahak, Y., Ratner, K., Giler, Y., Schlizerman, L., Sadka, A., Cohen, S., Garbinshikof, V., Giladi, B., Faintzak, M. (2014). Photoselective anti-hail netting for improved citrus productivity and quality. *Acta Horticulturae*, 1015, 169–176.
- Zhou, K., Jerszurki, D., Sadka, A., Shlizerman, L., Rachmilevitch, S., Ephrath, J. (2018). Effects of photoselective netting on root growth and development of young grafted orange trees under semi-arid climate. *Scientia Horticulturae*, 238, 272–280.

A-20-2020

DOI:10.31428/10317/8671

DIFERENCIAS EN UN CULTIVO DE TOMATE REGADO CON AGUA DE MAR DESALINIZADA Y MEZCLADA CON AGUA DE POZO, CULTIVADO EN SUELO Y EN HIDROPÓNICO.

Marín Membrive, P.¹ Valera Martínez, D. L.¹ Reca Cardaña, J.¹ Maestre Valero, J.² Moreno Teruel, M.A.¹ y Urrestarazu Gavilán, M.¹

¹ CIAIMBITAL, Universidad de Almería. patriciamarin@ual.es

² ETSIA, Universidad Politécnica de Cartagena, España. josef.maestre@upct.es



OBJETIVO

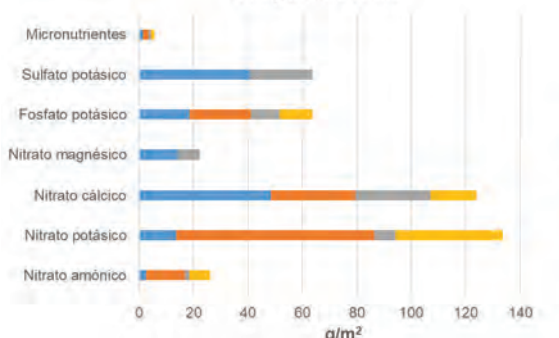
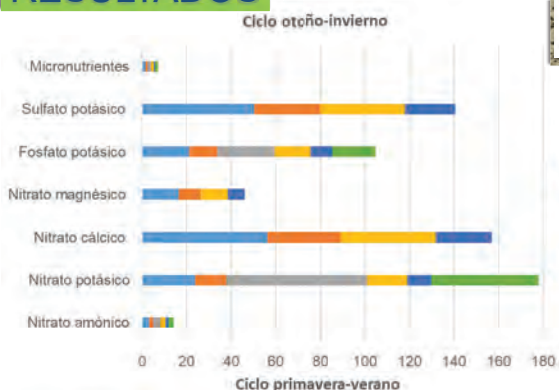
Diferencias en la **producción, consumo de agua y aporte de fertilizantes**

derivadas del **uso de agua de mar desalinizada (T1)** y agua de la **mezcla** de ésta con agua de pozo (**T2 y T3**)

en dos ciclos cortos de un cultivo de **tomate bajo invernadero**

cultivado en **suelo (S)** y en **hidropónico (H)** con reutilización de drenajes.

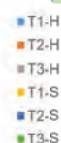
RESULTADOS



MATERIAL Y MÉTODOS



APORTES FERTILIZANTES



PRODUCCIÓN (P) Y CONSUMO DE AGUA (A)

	Ciclo de Otoño-Invierno (10/09/19 - 15/02/20)		Ciclo de Primavera-Verano (18/03/19 - 02/07/19)	
	P (kg/m ²)	A (kg/m ³)	P (kg/m ²)	A (kg/m ³)
T1-H	5,32	22,61	8,01	22,43
T2-H	4,57	19,42	7,84	21,23
T3-H	4,42	18,79	-	-
T1-S	4,59	25,73	6,18	30,34
T2-S	4,56	25,56	6,26	31,27
T3-S	4,63	25,95	-	-

CONCLUSIONES

- Según la técnica de cultivo empleada, el cultivo en hidropónico ha obtenido las mayores producciones, aunque ha sido menos eficiente en el uso de agua y se han aportado más fertilizantes.
- El tratamiento regado con agua desalada en hidropónico, ha tenido las mayores producciones, ha sido más eficiente en el uso de agua y se han aportado más fertilizantes en el ciclo de otoño-invierno.
- En el suelo, la mayor producción y eficiencia de agua ha correspondido al tratamiento con el agua de riego de mayor salinidad en cada ciclo, con un menor aporte de fertilizantes.

BANCO DE CALIBRACIÓN DE SONDAS DE HUMEDAD UPV-IVIA

Martínez Gimeno, M.A. (1), Badal Marín, E. (2), Bonet Pérez de León, L. (3), Balbastre Peralta, I. (4), Lidón Cerezuela, A. (5), Manzano Juárez, J.(6) (P)

¹ Ingeniero agrónomo, Servicio de Tecnología del Riego (STR), Institut Valencià de Investigacions Agràries (IVIA), martinez_margimb@gva.es

² Ingeniero agrónomo, Servicio de Tecnología del Riego (STR), Institut Valencià de Investigacions Agràries (IVIA), badal_edu@gva.es

³ Ingeniero agrónomo, Servicio de Tecnología del Riego (STR), Institut Valencià de Investigacions Agràries (IVIA), bonet_lui@gva.es

⁴ Responsable Laboratorio LIHR. Dpto. DIRA Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, ibbalpe@agf.upv.es.

⁵ Profesor, Universitat Politècnica de València, Centro Valenciano de Estudios sobre el Riego (CVER), juamanju@agf.upv.es

⁶ Profesor, Universitat Politècnica de València, Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA), juamanju@agf.upv.es

ivia
Institut Valencià
d'Investigacions Agràries



SENSORES Y CALIBRACIÓN

Los sensores electromagnéticos que miden la permitividad dieléctrica del suelo permiten una detección continua, rápida, estable y no destructiva de la dinámica espacio temporal del contenido de agua en el suelo. Metodologías de calibración:

- i) la calibración directa en campo: baja extrapolabilidad
- ii) la calibración en laboratorio desarrolla ecuaciones de ajuste: ampliamente representativo
- iii) la calibración mediante programas de simulación hidrológica de suelo: complejo

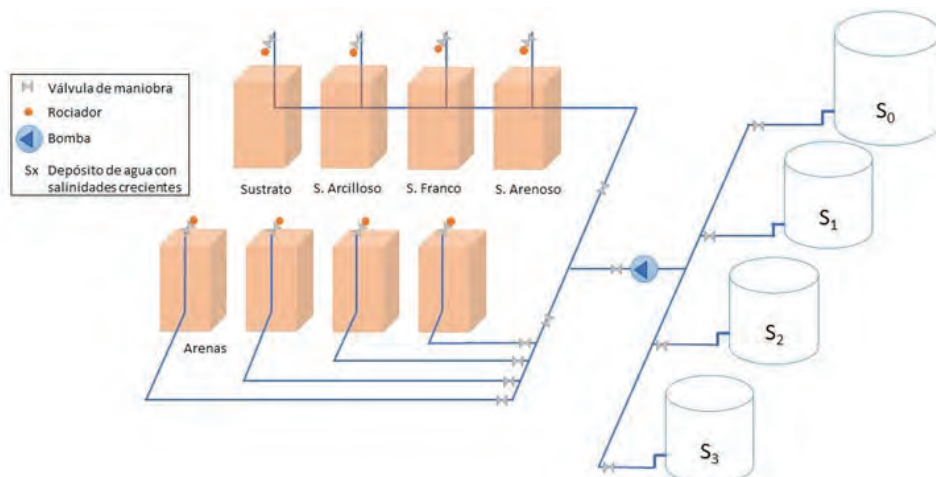
¿De dónde proceden las fuentes de error?

- ✓ Heterogeneidad del **suelo** (densidad aparente, textura, estructura, etc.) → Inexactitud
- ✓ **Salinidad** del agua de riego o del propio → Datos de humedad superiores a los reales.

OBJETIVO



Desarrollar una metodología de calibración para sensores de humedad bajo las condiciones controladas de laboratorio con tal de minimizar imprecisiones en las medidas. Se propone comparar las lecturas registradas por el equipo con los valores de humedad volumétrica determinados mediante muestreo.



PROCEDIMIENTO

El procedimiento seguido se basa en comparar las lecturas registradas por las sondas de humedad con los valores de humedad volumétrica determinados mediante muestreo inalterado de suelo y secado en estufa a 105°C durante 24 horas.

Se establecen tres niveles de humedad representativos para tres tipos de suelo diferentes (texturas arenosa, franca y arcillosa) y un sustrato. Los suelos empleados se fabrican artificialmente a partir de la mezcla en adecuadas proporciones de partículas de arcilla, limo y arena. Se aporta un 6% de materia orgánica para mejorar la estructura del suelo.



Las ecuaciones obtenidas de segundo grado $ax^2+bx+c=0$ con $r^2 = 0,84 - 0,98$

RESULTADO y CONCLUSIONES



Todos los métodos de calibración de sondas tienen sus ventajas e inconvenientes, y ninguno de ellos es fiel completamente a la realidad, pero permiten corregir las variaciones que puedan registrar los equipos de una forma eficiente. Mediante el banco de calibración desarrollado y la metodología propuesta se establecen las bases para la caracterización bajo tres texturas representativas y el efecto de la salinidad, para acotar su precisión y mejorar la información ofrecida al regante.

A-22-2020

DETERMINACIÓN DEL ESTADO HÍDRICO DEL VIÑEDO MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES TÉRMICAS Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD Y PRODUCCIÓN DE LA UVA

Rodríguez-Fernández, M. (1), González, X.P. (2), Fandiño, M.(3), Cancela, J.J.(4)

¹ Estudiante predoctoral, Grupo de Investigación GI-1716 "Proyectos y Planificación" Dpto. Ingeniería Agroforestal. Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior, Campus Universitario s/n, 27002, Lugo. 628757922, marta.rodriguez.fernandez0@rai.usc.es

² Profesor Contratado Doctor. Grupo de Investigación GI-2162 "Algoritmos y Modelización Geoespacial" Dpto. Ingeniería Agroforestal. Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior, Campus Universitario s/n, 27002, Lugo. 610968192, xesusablo.gonzalez@usc.es

³ Investigadora. Grupo de Investigación GI-1716 "Proyectos y Planificación" Dpto. Ingeniería Agroforestal. Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior, Campus Universitario s/n, 27002, Lugo. 98223605, maria.fandino@usc.es

⁴ Profesor Contratado Doctor. Grupo de Investigación GI-1716 "Proyectos y Planificación" Dpto. Ingeniería Agroforestal. Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior, Campus Universitario s/n, 27002, Lugo. 600940223, javierjose.cancela@usc.es

Resumen

El contenido de agua en el viñedo, es actualmente un factor de elevada importancia, que afecta directamente a la producción y calidad final de la cosecha, cada vez más exigente por el consumidor. El uso de las nuevas tecnologías en el viñedo, es cada día más utilizado entre los viticultores. El empleo de drones que disponen de cámaras térmicas, permiten analizar información con respecto al estado hídrico del viñedo a lo largo de la campaña, pudiendo establecer de este modo, sistemas de riego eficientes, que aporten a la planta las necesidades hídricas en el momento adecuado, así como una buena gestión de un insumo tan relevante como es el agua.

En el presente estudio, se han realizado dos vuelos de dron próximos a las fechas de envero y floración en la campaña 2019, de un viñedo de 10 ha situado en Rías Baixas y plantado con la variedad 'Albariño'. Con estas imágenes se han podido generar mapas térmicos, que dividen el viñedo en zonas en las que las necesidades hídricas de las plantas muestran un comportamiento homogéneo.

Se midió el potencial hídrico de tallo en 32 puntos de muestreo repartidos sobre una malla de 30x30 m, realizando las mediciones con una cámara de presión Scholander a mediodía solar. El principal objetivo, es el análisis a partir de la temperatura de vegetación y el Crop Water Stress Index (CWSI), siendo los métodos más utilizados para determinar el estado hídrico del viñedo, que permiten evaluar la respuesta de las imágenes térmicas obtenidas con el dron, con la influencia del estado hídrico de la planta en la producción y calidad de la cosecha final. Según los resultados obtenidos, el empleo de imágenes térmicas resulta un buen indicador del estado hídrico del viñedo, que permite realizar un manejo eficiente del mismo, para poder obtener una cosecha con buenos niveles de producción y calidad.

“Abstract”

The water content in the vineyard is currently a important factor, that affects the production and quality of the harvest, which is increasingly demanding by the consumer.

The use of new technologies in the vineyard is increasingly used among winegrowers. The use of drones that have thermal cameras, allow analyzing information regarding the water state of the vineyard throughout the campaign, that being able to establish efficient irrigation systems that provide the plant with water needs at the right time, as well as good management of an input as relevant as water.

In the present study, two drone flights have been made close to the dates of ripening and flowering in the 2019 campaign, from a vineyard of 10 ha located in Rias Baixas and planted with ‘Albariño’ variety.

With these images it has been posible to generate thermal maps, that show water needs balanced zones. Although, the stem water potential was measured at 32 sampling points spread over a 30x30 m mesh, making the measurements with a Scholander pressure chamber at solar noon.

The main objective is the analysis based on the vegetation temperature and the Crop Water Stress Index (CWSI), one of the most widely used methods to determine the water state of the vineyard, which allows evaluating the response of the thermal images obtained with the drone. As well as the influence of the hydric state of the plant on the production and quality of the final harvest. According to the results obtained, the use of thermal images is a good indicator of the water status of the vineyard, which allows efficient management, in order to obtain a harvest with good levels of production and quality.

1) Introducción

La viticultura de precisión, es una herramienta que está dando a conocer nuevas formas de abordar la producción vitícola, ya que la información y cantidad de datos que genera, ayudan a una mejor interpretación de lo que está sucediendo en una determinada área y en un determinado momento, convirtiéndose en una fuente de información espacio-temporal que tienden a mejorar la toma de decisiones del viticultor (Marchevsky, 2005).

La gestión del agua en el viñedo, es actualmente un factor importante que afecta a la calidad final de la uva. En trabajos como Bellvert et al., 2012 Rios, 2014 y 2016, se ha relacionado el potencial hídrico foliar medido en la viña con el índice CWSI, de forma que se puede considerar el uso de imágenes térmicas procedentes de vuelos de UAVs, como una herramienta útil en la zonificación del viñedo (Candiago et al., 2015; Cancela et al., 2019), que permite al viticultor un manejo diferenciado dentro del mismo.

En este contexto, el uso de imágenes térmicas tiene un importante potencial que permite la estimación de la variabilidad espacial existente dentro del viñedo, permitiendo conocer la temperatura de la ‘canopy’ que está directamente relacionada con la transpiración de la planta y, por tanto, con el estado hídrico, así como en la influencia de la producción y calidad de la cosecha final, que permite realizar una gestión del viñedo con unos parámetros finales marcados inicialmente por el viticultor (Arnó et al., 2008).

2) Objetivos

El principal objetivo que se establece en este trabajo, es evaluar en qué medida la adquisición de imágenes térmicas de alta resolución, obtenidas con un vehículo aéreo no tripulado, permiten analizar la variabilidad existente en el estado hídrico de un viñedo.

Para ello, se ha combinado el uso de imágenes térmicas de alta resolución obtenidas mediante un dron, con una escala de trabajo que analiza la evolución del potencial hídrico de tallo, que permite establecer relaciones entre ambos parámetros y analizar su influencia en la producción y calidad de la cosecha en época de vendimia.

3) Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en un viñedo de la variedad *Vitis vinífera* cv. Albariño, conducido en espaldera, de 10 ha de extensión y ubicado en Vilagarcía de Arousa (Pontevedra), dividida en cuatro subparcelas. Para la obtención de imágenes térmicas, se empleó una plataforma multirrotor tipo hexacóptero, equipada con una cámara termal Flir Vue Pro R 640, con una focal de 19 mm, geotiquetando correctamente cada imagen térmica obtenida.

Se realizaron dos vuelos para la campaña 2019, correspondientes con fechas aproximadas a la floración y envero en días despejados (25 de junio y 12 de agosto).

Las imágenes fueron procesadas con el sistema de información geográfico "QGIS 3.10 A Coruña", que ha permitido la obtención de mapas del estado hídrico del viñedo para las dos fechas analizadas, permitiendo una posterior clasificación de subzonas dentro de la totalidad del viñedo.

En la parcela a estudio, se estableció una malla de muestreo de 30x30 m, con un total de 32 puntos sobre los que se han tomado datos de potencial hídrico de tallo (stem water potential), mediante una cámara de presión Scholander modelo PMS 600, medido en hojas sanas, bien expuestas y a mediodía solar, los días 25 de junio y 9 de septiembre, para evaluar la respuesta de las imágenes térmicas obtenidas con el UAV. Posteriormente, se calculó el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI - Crop Water Stress Index; Jackson *et al.*, 1981), como indicador del estado hídrico derivado de las imágenes obtenidas, calculado mediante superficies de referencia de las imágenes térmicas, que han permitido la detección del píxel frío y caliente en las imágenes.

En la fecha de vendimia (9 de septiembre), se han determinado parámetros de calidad y producción (producción por planta, número de racimos, grado probable, acidez Total, pH, ácido Málico y ácido Tartárico), que han permitido contrastar estos datos con las zonas de estado hídrico diferencial obtenidas con el potencial de tallo y el CWSI a lo largo del viñedo.

4) Resultados y Discusión

El mosaicado de las imágenes adquiridas y tratadas, ha permitido comprobar que existen diferencias de temperatura a lo largo de la parcela, presentando además una cierta estructura espacial relacionada con las diferencias en el estado hídrico del viñedo.

La comparativa de las imágenes térmicas obtenidas entre las fechas de floración y envero, han mostrado una clara tendencia de subzonas, en las que el estado hídrico de la planta presenta un comportamiento similar reflejado en los dos vuelos realizados, determinando zonas con mayor estrés hídrico y, por tanto, una mayor temperatura del dosel vegetal (Figura 1).

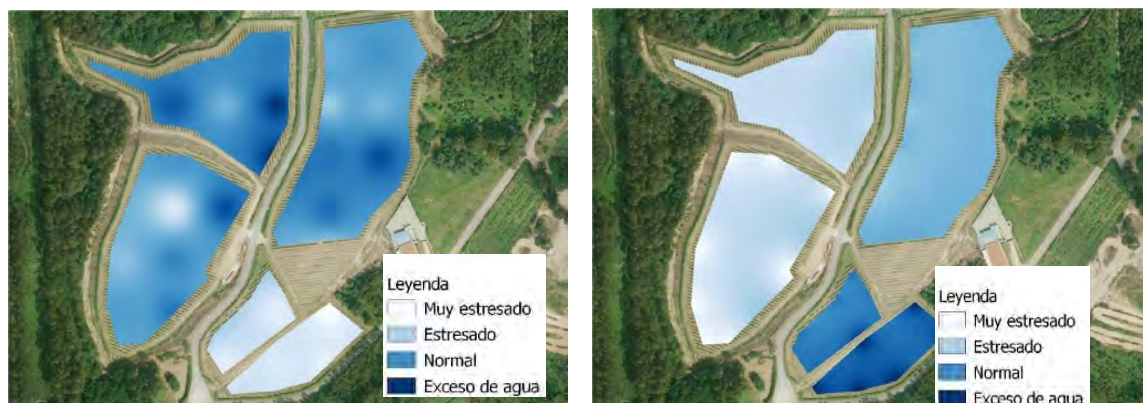


Figura 1. Imágenes térmicas del 25 de Junio y 12 de Agosto de 2019 (de izquierda a derecha respectivamente).

Con el cálculo del índice CWSI y las medidas de potencial hídrico de tallo se ha observado que existe una correlación lineal entre los datos medidos de potencial hídrico de tallo y el índice de estrés hídrico del cultivo en la floración (25 de junio) y envero (12 de agosto) de $r^2=0,70$ y $r^2=0,62$ respectivamente (Figura 2).

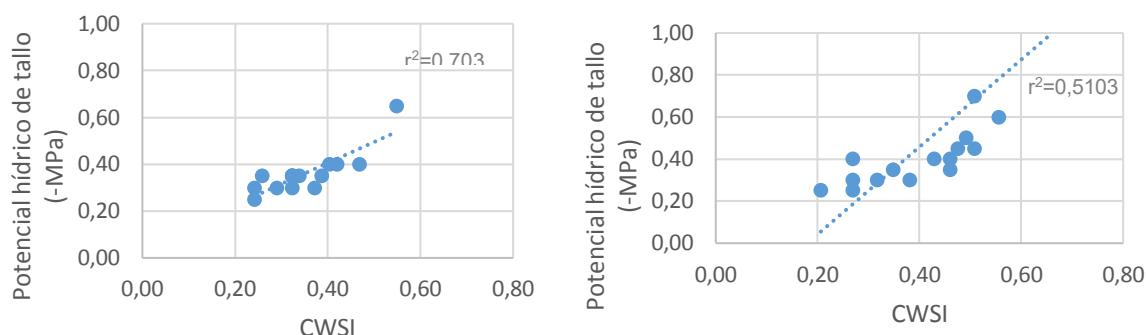


Figura 2. Correlación lineal del potencial hídrico y el CWSI del 25 de junio y 12 de agosto de 2019 (de izquierda a derecha respectivamente).

En cuanto a los parámetros de producción medidos en la vendimia, su comparación con las imágenes térmicas en floración, muestra cómo zonas en las que se observa una tendencia a mayor temperatura de dosel vegetal, obtienen una producción menor, mientras que zonas centrales de la parcela en las que el contenido hídrico de la planta se encuentra en el rango de valores normales, la producción obtenida es mayor (Figura 1 y 3).

Por otro lado, en los parámetros de calidad, se ha podido observar un buen balance de parámetros de calidad en los mostos en vendimia para aquellas plantas que no han mostrado un estrés hídrico muy elevado en fechas próximas al envero. En la Figura 4, puede observarse cómo el grado probable del mosto analizado varía a lo largo de la parcela, mostrando zonas con menor grado probable, que también se diferencian en los mapas térmicos obtenidos a partir de las imágenes del dron.

En trabajos como Berni et al., 2009, también se observan relaciones entre el índice CWSI y las medidas de potencial hídrico de tallo que dan a lugar a información útil del estado hídrico del viñedo. Si bien, el manejo diferencial en la parcela en cuanto al contenido de agua durante la campaña, afecta de forma directa a parámetros de calidad de la uva (Girona et al., 2009; Intrigliolo et al., 2012)

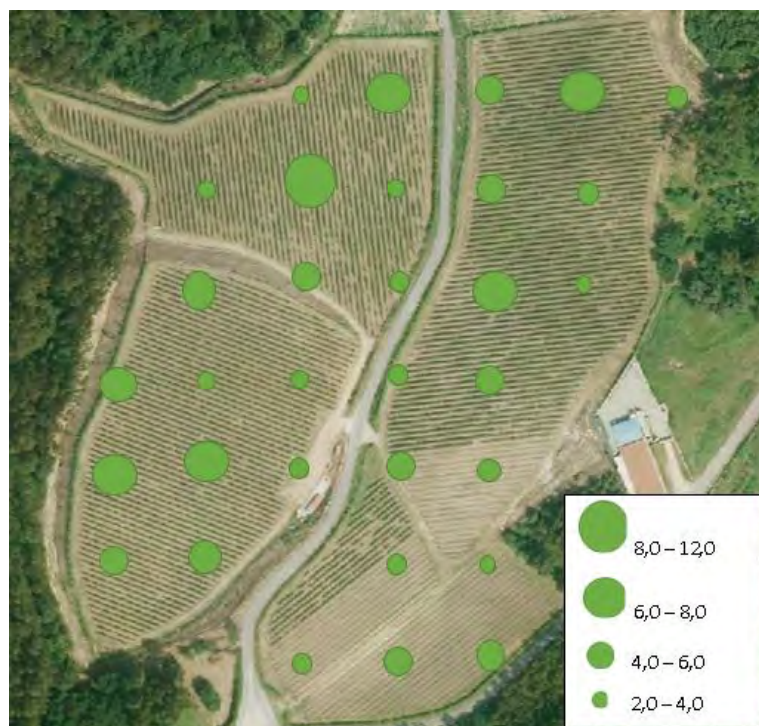


Figura 3. Representación de la producción por planta en fecha de vendimia (9 de septiembre 2019).

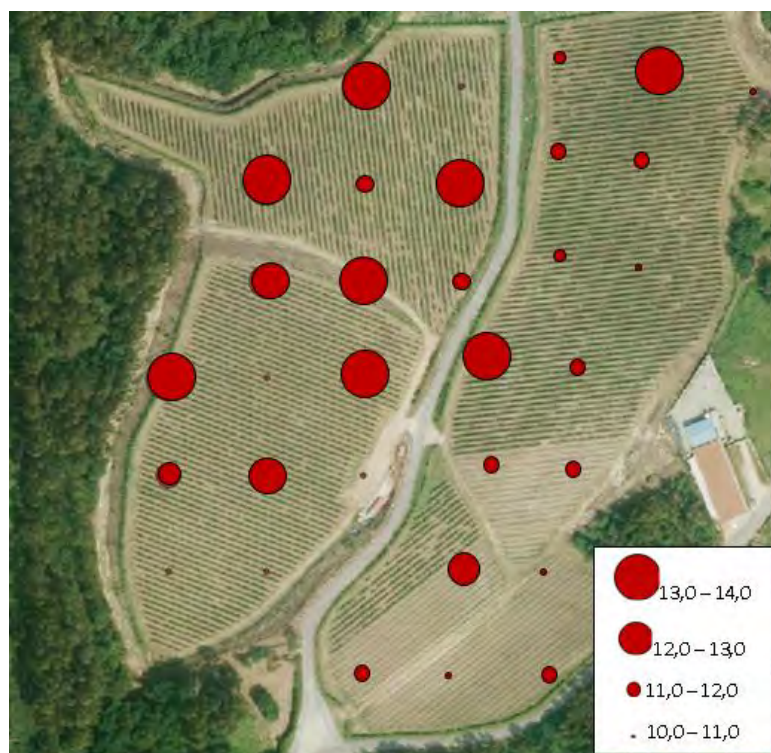


Figura 3. Representación del grado probable obtenido en la parcela en fecha de vendimia (9 de septiembre 2019).

5) Conclusiones

El empleo de las imágenes térmicas, puede considerarse una herramienta de gran interés para profundizar en el conocimiento de la variabilidad en el estado hídrico de un viñedo que, condicionará su producción y, por tanto, su potencial cualitativo. Además, ha permitido la caracterización del viñedo intra-parcelario, pudiendo aplicar un tratamiento diferencial según las necesidades hídricas de la planta en cada una de las zonas de la parcela en estudio, que actualmente cuentan con un sistema de riego diferenciado para cada una de ellas.

6) Agradecimientos

Al proyecto “ALBASOUL” Mar de Frades – Zamora Company.

6) Bibliografía

- Arnó, J., Martínez-Casasnovas, J. A., Blanco, R., Bordes, X., Esteve, J., & Codorníu, S. A. (2005). Viticultura de precisión en Raimat (Lleida): experiencias durante el período 2002-2004. ACE-Revista de Enología (on line). http://www.acenologia.com/ciencia73_01.htm
- Bellvert, J., Zarco-Tejada, P., Girona, J., Fereres, E. (2014). Riego de precisión en viñedos: manejo de la variabilidad mediante la teledetección térmica. https://quantalab.ias.csic.es/pdf/riego_s_2014.pdf
- Berni, J.J., Zarco-Tejada, P.J., Sepulcre-Cantó, G., Fereres, E., Villalobos, F. (2009). Mapping canopy conductance and CWSI in olive orchards using high resolution thermal remote sensing imagery. Remote Sens Environ 113: 2380-2388.
- Cancela, J. J., González, X. P., Vilanova, M., Mirás-Avalos, J. M. (2019). Water Management Using Drones and Satellites in Agriculture. Water, 11(5), 874; <https://doi.org/10.3390/w11050874>
- Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M., Gattelli, M. (2015). Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. Remote Sensing, 7(4), 4026-4047.
- Girona J., Marsal J., Mata M., Del Campo J. and Basile B. (2009). Phenological sensitivity of berry growth and composition of Tempranillo grapevines (Vitis vinifera L.) to water stress. Aust J Grape Wine Res; 15: 268-77.
- Intrigliolo D.S., Pérez D., Risco D., Yeves A. y Castel J.R. (2012). Yield components and grape composition responses to seasonal water deficits in Tempranillo grapevines. Irr Sci 2012; 30: 339-49.
- Marchevsky, P.L. 2005. Viticultura de precisión. ACE Revista de enología, 63, 1.
- QGIS Development Team, 2019 <http://qgis.org/es/site/forusers/download.html>
- Ríos, J. B. (2014). El uso de la teledetección de alta resolución como herramienta para realizar un manejo eficiente del riego en viñedos (Doctoral dissertation, Universidad de Córdoba, España).
- Ríos, J. B. (2016). Uso de la teledetección de alta resolución con sensores térmicos para el manejo del riego y la variabilidad espacial intralote. Revista Palmas, 37, 267-273.

A-25-2020

EVALUACIÓN DEL USO DE RECURSOS HÍDRICOS NO CONVENCIONALES EN LA SALINIDAD DEL SUELO Y EL DESARROLLO DEL CULTIVO DE LECHUGA MEDIANTE EL USO DE DRONES EN EL CAMPO DE CARTAGENA

Pedrero Salcedo, Francisco¹, Llobet Escabias, Marina², Boesveld, Harm², Bartholomeus, Harm³, Alarcón Cabañero, Juan José¹

¹ Departamento de Riego. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS), Campus de Espinardo, N-25 Espinardo 30.100 (Murcia). fpedrero@cebas.csic.es

² Water Resources Management Group. Wageningen university & Research. Droevendaalsesteeg 4, 6708 PB Wageningen.

³ Geo-Information Science and Remote Sensing. Wageningen university & Research. Droevendaalsesteeg 4, 6708 PB Wageningen.

1. Introducción

Una de las causas de la degradación del suelo es la salinidad, que afecta a mil millones de hectáreas en más de 100 países (Squires y Glenn, 2004), y se prevé que aumente 2 millones de hectáreas por año (Abbas et al., 2013). Por otro lado, el uso de fuentes de agua de riego no convencionales es necesario para reducir la presión sobre las fuentes de agua convencionales (ríos y acuíferos) para uso doméstico y satisfacer la futura demanda de alimentos, a la vez que es sostenible y económicamente viable. Por esta razón, es necesario establecer protocolos de buenas prácticas de gestión del riego a través de tecnologías agrícolas de precisión para evitar la salinización y utilizar correctamente los recursos hídricos no convencionales para el riego.

2. Objetivo

El objetivo de este trabajo es evaluar la salinidad del suelo y el desarrollo del cultivo de lechuga a través de imágenes térmicas y multiespectrales utilizando recursos hídricos no convencionales salinos en Murcia. La evaluación se realizó procesando imágenes térmicas y multiespectrales capturadas con dron bajo invernadero y en una parcela comercial al aire libre.

3. Materiales y métodos

Parcelas experimentales y diseño

El estudio se llevó a cabo en un invernadero del CEBAS-CSIC ubicado en el interior de la planta de tratamiento de aguas residuales de Roldán, Lo Ferro, Balsicas (Murcia) y en una parcela comercial al aire libre. El invernadero tiene una superficie de 680 m², sistemas de calefacción, ventilación de pantalla, automatismos de control climático y sistemas de riego. Además, se estudió una parcela comercial al aire libre ubicada en La Aparecida (Murcia). En

el ensayo bajo invernadero, la experiencia consistió en el cultivo de lechugas mini-romanas (*Lactuca sativa* var. *Romana*) en suelo. El trasplante se realizó el 24 de octubre de 2019 y la cosecha el 16 de diciembre de 2019. La distancia entre hileras fue de 15 cm y el marco de la plantación de 0,16 x 1 m (6 p/m²). Se utilizaron dos fuentes de agua distinta a partir del efluente producido en un prototipo de desalación de aguas residuales tratadas. Por una parte, se obtuvo un tratamiento salino (SP) mediante la mezcla del efluente y la salmuera producida en el prototipo (CE = 3-4 dS m⁻¹), y un segundo tratamiento con el efluente del prototipo (CP) sin mezclar con salmuera (CE = 0.7-0.8 dS m⁻¹) como tratamiento control. Para ambos tratamientos se realizaron 6 líneas con 60 plantas por línea.

La parcela comercial (IP) tenía un área de 1 ha de lechuga (variedad Mestiza). El trasplante tuvo lugar el 17 de octubre de 2019, con una densidad de plantación de 6,75/m², y la cosecha el 6 de enero de 2020. El agua de riego utilizada por el agricultor es el resultado de la combinación de diferentes fuentes de agua (lluvia, aguas regeneradas y aguas subterráneas) y se aplicó con un sistema de riego por goteo.

En ambas parcelas se realizaron análisis de agua, planta y suelo. Tres muestras de cada fuente de agua de riego fueron recolectada semanalmente durante los ciclos de cultivo para caracterizar la calidad del agua de riego. Las muestras se recogieron en botellas de vidrio y fueron transportadas en una hielera al laboratorio y almacenadas a 5 °C antes de ser procesadas para análisis químico. La concentración de Na, K, Ca, Mg, Fe, B, Mn, Ni, Cu, Zn y los metales pesados Cd, Cr y Pb fueron determinados por plasma acoplado inductivamente (ICP-ICAP 6500 DUO Thermo, Inglaterra). Aniones (cloruro, nitrato, fosfato y sulfato) fueron analizados por cromatografía iónica (Metrohm, Suiza) con un cromatógrafo de líquidos. Los mismos análisis fueron realizados para suelo y cultivo.

Técnicas de teledetección y procesamiento de datos

También se utilizaron técnicas de teledetección y procesamiento de datos para caracterizar ambas parcelas experimentales. Se utilizaron imágenes de dron para medir las respuestas espectrales y térmicas del suelo y el dosel a las condiciones salinas. Se realizaron un total de tres vuelos en cada parcela. El programa ArcGIS (versión 10.5) se utilizó para procesar las imágenes y calcular los diferentes índices. Para este estudio, se eligieron dos índices vegetativos (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la temperatura de la canopia) y dos índices de suelo (Índice de Salinidad del Suelo (SI) y el Índice de Salinidad de Diferencia Normalizada (NDSI)) para relacionarlos con la salinidad del suelo.

4. Resultados y Discusión

Las diferentes aguas de riego utilizadas en el ensayo tuvieron diferencias significativas en diferentes parámetros, especialmente los relacionados con la salinidad (Tabla 1). La T^a de la canopia mostró resultados prometedores, ya que obtuvo una buena correlación lineal de (R² = 0.5) y mostró el mismo patrón visual que la salinidad del suelo cuando la cámara térmica se utilizó en condiciones climáticas óptimas tanto en el ensayo bajo invernadero (Figura 1) como en el ensayo de la parcela comercial (Figura 2). Los resultados encontrados en esta tesis respaldan la teoría de que un cultivo menos tolerante mostrará diferencias de temperatura más altas y, por lo tanto, tendrá mejores correlaciones (Ivushkin et al., 2018; Tian et al., 2019). Además, el patrón de canopia T^a y ECsat en T2 fue muy similar, lo que también se observó en un estudio anterior (Ivushkin et al., 2017). El otro índice vegetativo (NDVI) tenía correlaciones muy bajas y no hubo diferencias visuales aparte del tamaño más pequeño en las etapas iniciales de las lechugas cultivadas en la SP en comparación con las de la CP (datos no mostrados).

Tabla 1. Características químicas de las aguas de riego utilizadas en ensayo bajo invernadero (CP=efluente del prototipo, SP=tratamiento salino) y en la parcela comercial (IP) junto con la desviación estándar (DS).

parametros	CP			SP			IP		
	Media	DS		Media	DS		Media	DS	
EC (dS/m)	1	0,38	a	4,42	0,41	b	1,01	0,11	a
pH	8,02	0,13	a	7,77	0,15	ab	8,50	0,43	a
Cl ⁻ (mg/l)	322,11	368,19	a	861,1	361,6	b	176,67	21,42	c
NO ₃ ⁻ (mg/l)	20,14	6,47	a	25,71	1,98	ab	2,73	0,64	c
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	3,94	0,68	a	10,83	7,85	b	3,18	0,90	a
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	92,14	63,37	a	319,1	185,27	b	82,96	17,05	a
Na ⁺ (mg/l)	152,36	43,5	a	762,36	47,41	b	127,42	13,08	c
P (mg/l)	1,37	0,56	a	5,04	4,09	ab	1,00	0,48	a
S (mg/l)	43,22	19,76	a	149,86	96,94	b	33,55	10,49	a

Misma letra significa que no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba HSD de Tukey (P <0.05)

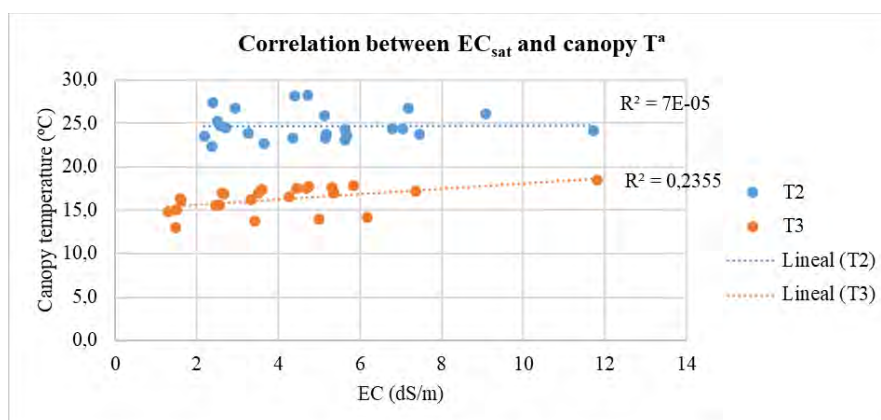


Figura 1. Correlación lineal entre el ECsat y la temperatura de la canopia para T2 (12/02/2019) y T3 (16/12/2019)

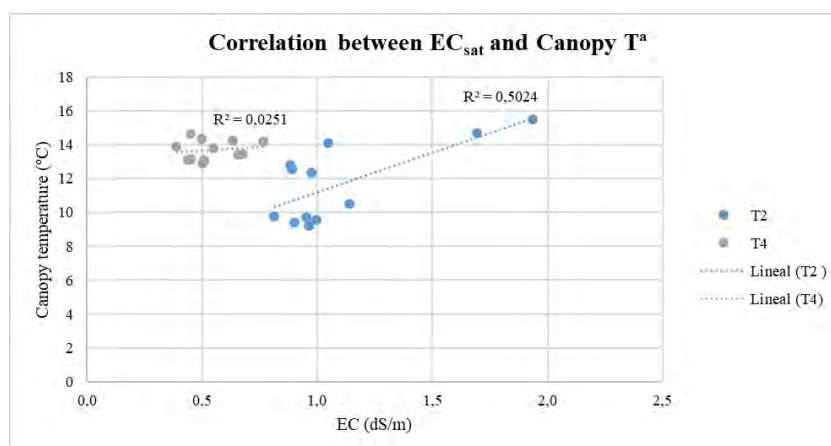


Figura 2. Correlación lineal entre la temperatura del dosel y la conductividad eléctrica del suelo para T2 (20/11/2019) y T4 (16/12/2019)

Los índices de salinidad del suelo, SI y NDSI, obtuvieron buenas correlaciones, pero los patrones de salinidad del suelo no se distinguieron. De todos los índices, el que mejor se comportó fue el SI, con correlaciones lineales entre 0.63-0.83 tanto en el ensayo bajo invernadero (Figura 3,4) como en la parcela comercial (Figura 5,6). Se observaron resultados similares en estudios recientes como Gorji y col. (2017) donde monitorearon la salinidad del suelo en un lago salado y sus alrededores en Turquía, obteniendo una correlación de 0.77. Además, en otro estudio realizado en una zona agrícola en Marruecos (Lhissou et al., 2014), se encontró una correlación moderada ($R^2 = 0.55$) entre SI y ECsat. Sin embargo, cuando se aplicó SI en suelos muy salinos, Allbed et al. (2014) obtuvieron correlaciones insignificantes y bajas en un oasis dominado con palmera datilera en Arabia Saudita.

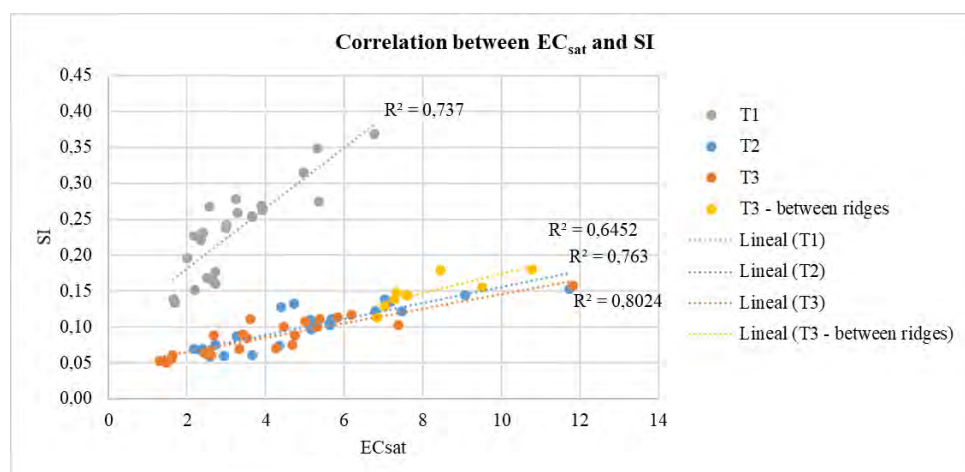


Figura 3. Correlación lineal entre el ECsat y el SI para T1 (12/12/2019), T2 (02/12/2019) y T3 (16/12/2019)

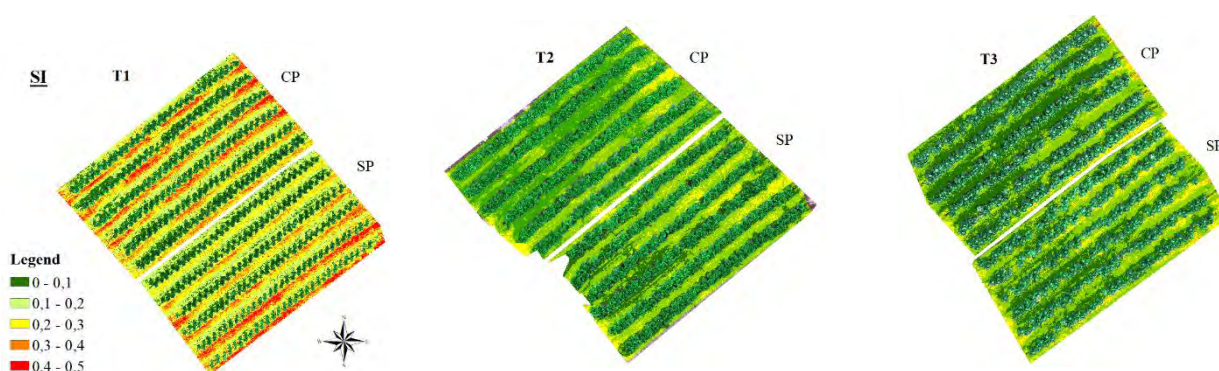


Figura 4. Mapas del SI aplicados solo al suelo desnudo para T1 (11/12/2019), T2 (12/02/2019) y T3 (16/12/2019).

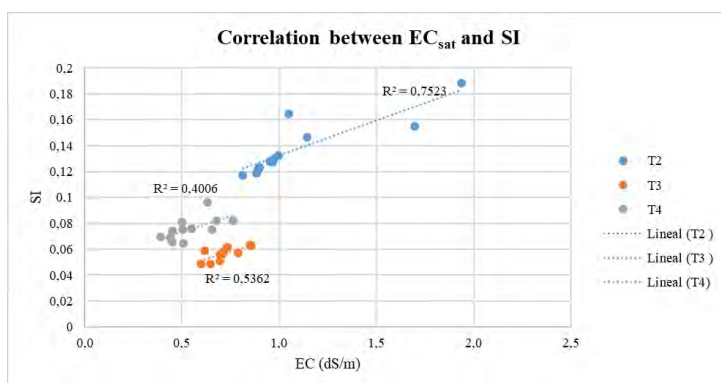


Figura 5. Correlación lineal entre el ECsat y el SI para T2 (20/11/2019), T3 (02/12/2019) y T4 (16/12/2019).

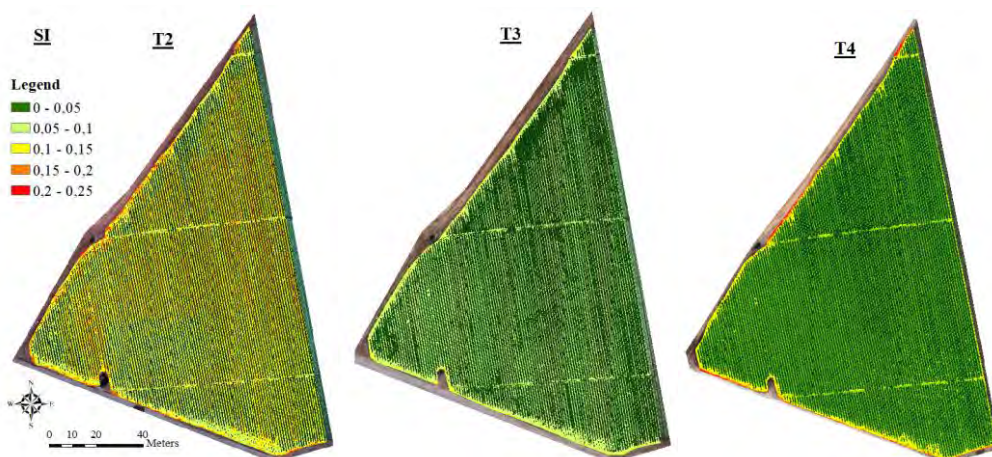


Figura 6. Mapa del SI aplicado al suelo desnudo para T2 (20/11/2019), T3 (02/12/2019) y T4 (16/12/2019)

El agua de riego salina afectó claramente al desarrollo del cultivo y el contenido mineral foliar, viéndose afectadas por diferentes elementos fitotóxicos (datos no mostrados). Tras la recolección, se observó que el peso fresco del cogollo fue un 18% mayor en el tratamiento CP con respecto en el SP, mientras que no hubo diferencias significativas en el diámetro y la altura del cogollo (datos no mostrados). Otros estudios encontraron diferencias similares entre las lechugas regadas con un ECw de 0.9 y 3.6 dS / m (Di Mola et al., 2018).

5. Conclusiones y Recomendaciones

Las altas correlaciones obtenidas con la Tª de la canopia en comparación con estudios anteriores corroboran la teoría de que las correlaciones con la salinidad del suelo serán mayores con un cultivo más sensible a las sales en el suelo. Como en estudios anteriores también se obtuvieron buenos resultados, se puede concluir que el SI es un índice fiable para predecir la salinidad del suelo. Además, en este experimento se comprobó que el agua de riego no convencional utilizada en el tratamiento CP, del prototipo de tratamiento, demostró ser perfectamente adecuada para el cultivo de lechuga. Por lo tanto, se recomienda la realización de estudios similares con los índices estudiados en condiciones de clima árido o

semiárido, con suelos y cultivos sensibles a la salinidad y en superficies planas (sin caballón) para ver el movimiento de las sales. Por último, asegurarse de que los vuelos con drones se realicen en condiciones climáticas óptimas, especialmente cuando la humedad relativa no es muy alta, de modo que permitan en un futuro próximo, desarrollar una ecuación / modelo para predecir la salinidad del suelo con una alta precisión a partir de los índices estudiados.

6. Agradecimientos

Este trabajo no podría haberse realizado sin el apoyo económico del proyecto de investigación 'Use of Advanced information technologies for Site-Specific management of Irrigation and Salinity with degraded water' (ASSIST) financiado por la Fundación SENECA en el Programa Regional "SAAVEDRA FAJARDO", y el Proyecto SHui, cofinanciado por el Proyecto de la Unión Europea GA 773903 y el MOST de China.

7. Referencias

- Abbas, A., Khan, S., Hussian, N., Hanjra, M.A. & Akbar, S. (2013). Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using remote sensing approach. *Physics and Chemistry of the Earth*, 55-77, 43-52.
- Allbed, A., Kumar, L. & Aldakheel, Y.Y. (2014). Assessing soil salinity using soil salinity and vegetation indices derived from IKONOS high-spatial resolution imageries: Applications in a date palm dominated region. *Geoderma*, 230-231, 1-8.
- Di Mola, I., Roupheal, Y., Ottaiano, L., Duri, L.G., Mori, M. & De Pascale, S. (2018). Assessing the effects of salinity on yield, leaf gas exchange and nutritional quality of spring greenhouse lettuce. *International Symposium on New Technologies for Environment Control, Energy-Saving and Crop Production in Greenhouse and Plant Factory*, 479-484.
- Gorji, T., Serte, E. & Tanik, A. (2017). Monitoring soil salinity via remote sensing technology under data scarce conditions: A case study from Turkey. *Ecological Indicators*, 74, 384-391.
- Ivushkin, K., Bartholomeus, H., Bregt, A.J. & Pulatov, A. (2017). Satellite thermography for soil salinity assessment of cropped areas in Uzbekistan. *Land Degradation & Development*, 28, 870-877.
- Ivushkin, K., Bartholomeus, H., Bregt, A.J., Pulatov, A., Bui, E.N. & Wilford, J. (2018). Soil salinity assessment through satellite thermography for different irrigated and rainfed areas. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 68, 230-237.
- Lhissou, R., El Harti, A. & Chokmani, K. (2014). Mapping soil salinity in irrigated land using optical remote sensing data. *Eurasian Journal of Soil Science*, 3, 82-88.
- Squires, V.R. & Glenn, E.P. (2004). Salinization, desertification and soil erosion. In V.R. Squires (Ed.), *The Role of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries in Human Nutrition*. Oxford: EOLSS Publishers.
- Tian, F., Hou, M., Zhang, T. & Yuan, Y. (2020). Salinity stress effects on transpiration and plant growth under different salinity soil levels based on thermal infrared remote (TIR) technique. *Geoderma*, 357, 113961.

A-26-2020

OPTIAQUA: HERRAMIENTA PARA GESTIONAR LOS RIEGOS

*Huete Cuevas, J.(P)¹, Tobar Pardo, V.¹, Omaña Álvarez, J.M.²,
Quijano García González, A.³*

¹ Ingeniero Agrónomo, SIAR- Consejería Agricultura – Gobierno de La Rioja, Finca La Grajera. Ctra. LO-20 - salida 13. Autovía del Camino de Santiago, siar.cida@larioja.org

² Ingeniero Agrónomo, AIMCRA, Ctra. Villabáñez, 201. 47017 Valladolid, j.m.omana@aimcra.es

³ Ingeniero Agrónomo, Comunidad de Regantes sector 3º tramo III canal margen izquierda río Najerilla, Apdo. de correos 39, 26200 Haro, secretaria@reganteszarraton.es

Resumen

El método del balance hídrico es una herramienta contrastada para gestionar el riego de las parcelas agrícolas. Sin embargo, su uso no está extendido debido fundamentalmente a la dificultad de acceso en tiempo real a la información necesaria para realizar su cálculo. A través de un Grupo Operativo se ha desarrollado un sistema capaz de calcular los balances hídricos de parcelas de la Comunidad de Regantes de mayor extensión de La Rioja empleando para ello los datos recogidos por los contadores de agua, la información climática de la red de estaciones agroclimáticas de la Rioja y los datos de cultivo recopilados por en distintos trabajos desarrollados por la Consejería de Agricultura de LA Rioja y AIMCRA. El resultado es una aplicación que permite a los agricultores acceder a través de su teléfono móvil a los resultados del balance hídrico para cada una de sus parcelas y contar así con una referencia adicional a la hora de tomar decisiones de riego.

1- Introducción

Es la era de la digitalización, se ha puesto de moda la comunicación, la velocidad en las conexiones hace realidad la capacidad para encontrar cualquier tipo de información, en cualquier parte y en unos segundos, escribiendo sobre una pantalla móvil.

La información nos rodea, más bien nos sobrepasa, y aunque casi toda la información actual está digitalizada no toda es accesible vía internet. Mucha de la información que necesitamos está dispersa, por ejemplo necesitamos conocer cuánto ha llovido para programar nuestro sistema de riego, pero también necesitamos conocer cuánto ha consumido nuestro cultivo, comprobar cuál es el estado hídrico del suelo y tener en cuenta la previsión de los próximos días.

Considerando esta abundancia de información, ¿sería posible calcular de una manera rápida y eficaz cuántas horas tengo que regar mis parcelas? Para ello necesitaríamos un método de cálculo contrastado, sencillo y que pudiera ejecutarse de forma automática; tal método existe, se conoce con el nombre de método del balance hídrico y, por lo tanto, la respuesta es sí. Sin embargo, la dificultad se encuentra en la recopilación de la información,

que debido a su dispersión requiere de una gran cantidad de mano de obra que en la práctica hace imposible el uso de este tipo de herramientas por parte del regante.

2- Descripción y objetivos

A raíz de este análisis se formó un Grupo Operativo (GO) compuesto por la Comunidad de Regantes sector 3º tramo III canal margen izquierda río Najerilla, Asociación de Investigación para la Mejora del Cultivo de la Remolacha Azucarera (AIMCRA) y el Servicio de Información Agroclimática de La Rioja que, con financiación de la Unión Europea y del Gobierno de La Rioja, ha trabajado desde 2016 con el objetivo de desarrollar una serie de aplicaciones informáticas que: automaticen la recogida de la información necesaria, ejecuten el cálculo de balance siguiendo las directrices que establece la FAO y muestren al agricultor información veraz y actualizada, de forma sencilla e intuitiva.

OPTIAQUA es la aplicación informática desarrollada en el proyecto de este GO; consta de dos partes, una encargada de recopilar la información de partida y calcular el balance hídrico y otra que, a partir de los datos calculados, ofrece una salida gráfica con el resultado de los balances.

La parte encargada de realizar los cálculos se instala en el servidor de la Comunidad de Regantes y se configura para acceder a los datos climáticos de estaciones meteorológicas públicas cercanas a las zonas de cultivo, así como a los parámetros que definen el suelo de las parcelas (textura, profundidad y porcentaje de elementos gruesos); además, se configura un acceso a la información del riego que puede provenir de la propia comunidad de regantes. Una vez configurada, la aplicación calcula automáticamente los balances para las parcelas que estén activadas en el sistema y ofrece esta información a través de internet.

Por otro lado, la aplicación de visualización de los datos se ejecuta en los teléfonos móviles, tabletas u ordenadores de los usuarios. Mediante un usuario y una contraseña los regantes acceden a la información disponible para sus o unidades de cultivo, llamadas así en lugar de parcelas para distinguirlas de las notación catastral. En la actualidad el sistema OPTIAQUA se ha implantado en la Comunidad de Regantes del sector III, tramo tercero canal margen izquierda del Najerilla y permite a los agricultores adheridos al programa recibir en sus teléfonos móviles la información sobre el estado hídrico de sus unidades de cultivo calculada en tiempo real y, por tanto, tomar decisiones de riego basadas en esta información.

3- Puesta en marcha

La Comunidad de Regantes cuenta con 4.705 regantes y propietarios declarados, cada año se declaran entre 1400 y 1700 unidades de cultivo, definidas como una entidad homogénea que se puede gestionar integralmente (en lo relativo a riegos y tratamientos) si bien puede contar con una o más posturas de riego. En 2020 se han declarado un total de 788 unidades de cultivo que ocupan una superficie regable de 2.411 hectáreas; la superficie media de cada unidad de cultivo es de 3,06 hectáreas.

El usuario objetivo hacia el que se orienta la herramienta es el agricultor profesional que maneja un gran número de hectáreas con distintos tipos de cultivo; hasta la fecha su sistema de riego es por calendario, con una regulación de las aportaciones de riego basada en la interpretación que los agricultores hacen de la climatología y el estado del cultivo si bien estos cálculos no se realizan siguiendo una metodología estandarizada; estudios previos a este proyecto, realizados entre 2012 y 2015 han demostrado que el empleo del método del balance permite ahorros de hasta un 20% en las parcelas para las que se realizó el seguimiento.

La configuración de la aplicación que realiza los cálculos comienza con la declaración de cultivos que realizan los agricultores al comienzo de la campaña, en ella se definen las parcelas catastrales que integran cada unidad, el hidrante o hidrante y tomas desde las que se va a obtener el agua de riego y el cultivo que se ocupará cada unidad. A esta información

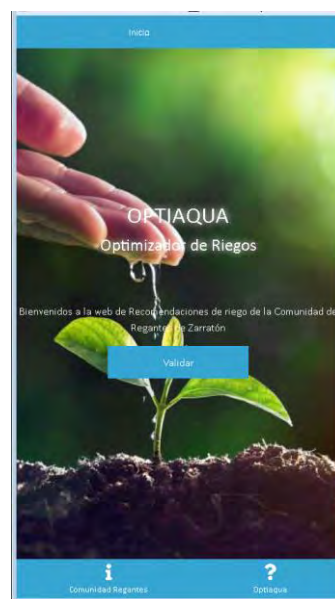
que define la superficie de cultivo se le añaden los valores medios de textura del suelo que, junto con el porcentaje de elementos gruesos, permite calcular la capacidad de retención de agua del suelo, para ello se cuenta con los análisis de suelo que realizan los agricultores o bien se puede usar la extensa base de datos de suelo con la que cuenta AIMCRA. Los datos de consumo teórico de los cultivos, que permite asignar una K_c a cada fase de cultivo o, si se dispone de ellas, modelizar el crecimiento del cultivo y obtener el valor de la K_c a partir de los valores de cobertura, están previamente almacenados en distintas tablas de la base de datos, para esta información se ha contado con la información generada por la Consejería de Agricultura de La Rioja que mediante ensayos realizados por la desaparecida sección de Recursos Naturales desde 1980 hasta 2015 caracterizó los cultivos más importantes de la zona.

Por otro lado, para poder realizar los cálculos es necesario acceder, en tiempo real a la información climática y a los volúmenes de riego aplicados. Para lo primero la aplicación accede a la información generada por la red de estaciones del Servicio de Información Agroclimática de La Rioja, este acceso es posible gracias al sistema API con el que cuenta este servicio. En cuanto al riego, se ha generado un sistema de intercambio de información que permite captar los datos recogidos por los contadores de la Comunidad de Regantes.

Los cálculos del balance que permiten obtener los valores concretos de humedad del suelo se realizan siguiendo las directrices especificadas por la monografía 56 de la FAO. La aplicación está desarrollada siguiendo una filosofía de código abierto y está disponible para su estudio o para ser usada como punto de partida en otros proyectos en: <https://github.com/OptiAquaProject/OptiAqua>

En cuanto al acceso a los datos de balance calculados se ha desarrollado la App OptiAqua. Es una aplicación multiplataforma por lo que se puede acceder a ella tanto desde un dispositivo móvil como desde un ordenador.

Durante el desarrollo de esta aplicación se ha considerado que un regante tiene, por lo general, múltiples unidades de cultivo, cada una con una problemática distinta y en una situación hídrica diferente, por ello tras la pantalla de acceso mostrada a la izquierda de estas líneas donde el regante introduce un usuario y una contraseña se accede a una pantalla inicial donde se muestra el estado hídrico calculado para las unidades de cultivo a día de hoy. Para representar el estado hídrico se utiliza un código de colores que varía entre el verde (estado hídrico OK) al rojo (estado hídrico muy deficitario), ver figura 2. La pantalla inicial permite ordenar las unidades de cultivo en función de distintos criterios: por cultivo, por municipio o por el estado hídrico. También se ha pensado en una visión cartográfica de la situación hídrica.



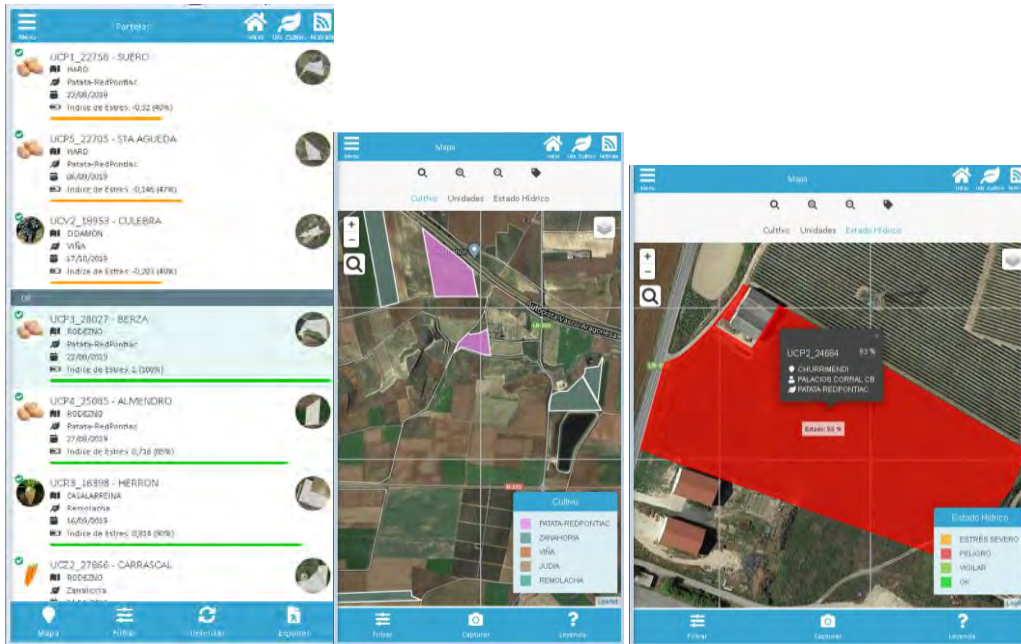


Figura 2. Pantallas iniciales de la aplicación que muestran las parcelas y usnado un código de colores el estado hídrico actual de las mismas.

Tras esta visión general el regante puede acceder a la información pormenorizada para cada una de sus unidades de cultivo, para ello se han diseñado dos pantallas, la más importante es una pantalla donde un cilindro, que representa la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, muestra el contenido de agua en el suelo calculado mediante el balance. Esta pantalla se ha definido como una fotografía que refleja el estado actual del cultivo, por ello, además del cilindro, que varía su color en función del estado hídrico de la unidad de cultivo, aparece información adicional relevante para el agricultor como la cantidad de agua total aportada durante la campaña, la cantidad de agua perdida por drenaje y su traducción a euros de pérdidas y las variables de cultivo que se han empleado para realizar los cálculos: fase de cultivo, porcentaje de cobertura, altura del cultivo.

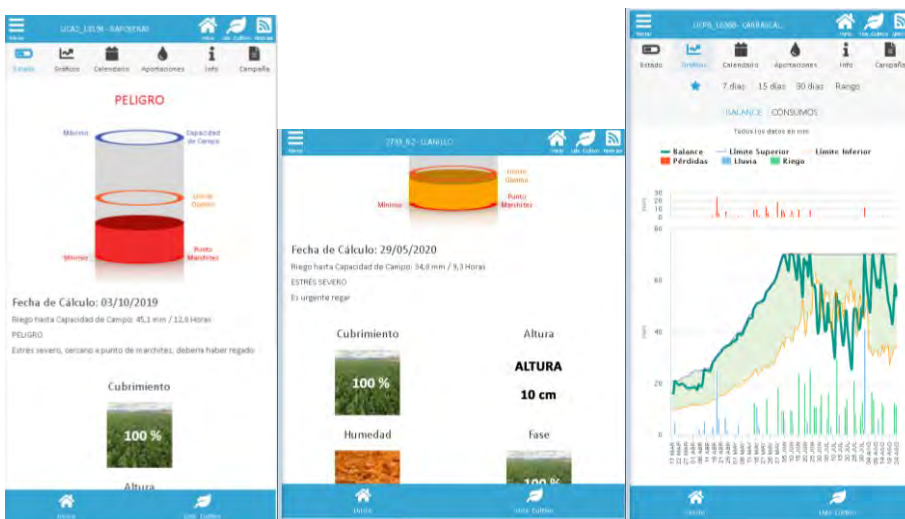


Figura 3: pantallas de detalle (izquierda y centro) donde se muestra tanto el estado hídrico del cultivo como los distintos parámetros empleados en el cálculo y un resumen del agua aportada

en riego y el agua perdida por drenaje. En la derecha gráfica de evolución del balance en el tiempo que permite un análisis de la estrategia de riego.

Por otro lado se ofrece la clásica salida de balance hídrico (figura 3) representada en una gráfica de evolución que permite analizar para cada día del cultivo el estado hídrico, el consumo diario del cultivo, el riego aportado, las pérdidas por drenaje, etc. Esta pantalla está orientada más a un análisis a posteriori de la situación a realizar por un asesor de riego para evaluar la gestión del riego realizada.

4- Conclusiones

Mediante este proyecto se ha desarrollado un sistema de aplicaciones informáticas en código abierto que permite el cálculo del balance hídrico y la visualización de los datos por parte del regante o asesor. La arquitectura de ambas aplicaciones y el hecho de estar desarrolladas en código abierto permite adaptarlas a otras comunidades de regantes.

La principal dificultad encontrada ha sido la accesibilidad a la información necesaria para ejecutar los cálculos de balance y ofrecer resultados en tiempo real. Así, si bien esta información está disponible, proviene de distintas fuentes (servicios de información agroclimática, comunidades de regantes, información offline como los análisis de suelo, etc); y se almacena con fines diferentes al de ejecutar un balance hídrico por lo que requiere de un procesamiento previo para ser almacenada en una base de datos unificada. Por ello el principal reto para este tipo de desarrollo ha sido facilitar el entendimiento entre las distintas fuentes de información y su implantación en diferentes organismos o empresas.

Otro problema encontrado y que es específico del territorio en el que nos encontramos, es el reflejo de la realidad territorial en la base de datos. Debido a la singularidad del manejo territorial no es posible automatizar en su totalidad la diversidad de configuraciones de riego y parcelas que existen en la comunidad de regantes.

Por último, a partir del trabajo realizado, se plantean nuevos retos a este GO con la finalidad de mejorar el sistema en la línea de conseguir una mayor precisión y automatización, uno de los más importantes es el empleo de imágenes satélite que nos aporten la información de desarrollo del cultivo, en particular el coeficiente de cultivo (K_c), lo que nos permitiría introducir en el cálculo del balance este valor como una variable medida y no estimada como hasta ahora.



APLICACIÓN DE LA ESPECTROSCOPIA ULTRASÓNICA RESONANTE PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO HÍDRICO DE CÍTRICOS EN CAMPO: BASE TEÓRICA Y MONTAJE

Fariñas, L. ¹, Badal Marín, E. ², Martínez Gimeno, M.A. ³, Bonet, L. ⁴, Manzano, J. ⁵ (P)

¹ Investigadora, Departamento Tecnología de Alimentos (UPV), maferfa@upv.es

² Ingeniero agrónomo, Servicio de Tecnología del Riego (IVIA), badal_edu@gva.es

DOI:10.31428/10317/8682

³ Ingeniero agrónomo, Servicio de Tecnología del Riego (IVIA), martinez_margimb@gva.es

⁴ Ingeniero agrónomo, Servicio de Tecnología del Riego (STR), Institut Valencià de Investigacions Agràries (IVIA), bonet_lui@gva.es

⁵ Profesor, Universitat Politècnica de València, Centro Valenciano de Estudios sobre el Riego, juamanju@agf.upv.es

A27-2020

En este estudio se presentan los últimos datos experimentales en campo en hojas de *Clemenules x carrizo*. Se comparan los datos tomados con la tradicional cámara de presión y con la novedosa técnica de Espectroscopia Ultrasónica Resonante mediante sensores sin contacto (NC-RUS). Las plantas fueron sometidas a tres tratamientos de riego: T100, plantas regadas al 100% de la evapotranspiración de cultivo (ETc); T50, riego al 75% de la ETc; y T25, riego al 50% de la ETc.

Palabras clave: Estrés hídrico, Sensores, Nuevas Tecnologías, Ultrasonidos, Cítricos

1 Objetivos del proyecto CitRUS

PRINCIPAL

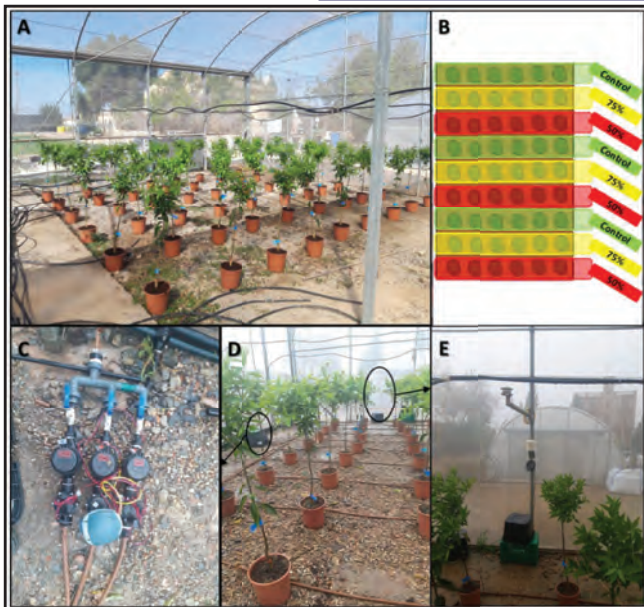
Estudiar la validez de la técnica NC-RUS como indicador del estado hídrico en plantas mediante medidas fisiológicas en el campo.

PARCIALES

- Aplicar en cítricos la técnica de NC-RUS en campo implementando un sistema portátil.
- Correlacionar parámetros ultrasónicos de las hojas con parámetros de control del estado hídrico de la planta.
- Correlacionar los parámetros ultrasónicos con dosis de riego.

2 Material y Métodos:

Definición del ensayo de riego



A) Parcela pre-montaje; B) Esquema de tratamientos de riego; C) Riego; D) Parcela post-montaje; E) Sensores de humedad relativa, temperatura y radiación

MATERIAL:

- Parcela experimental UPV bajo malla de sombreo.
- Plantones de *Citrus clementina* sobre patrón de *Citrango Carrizo*.

TRATAMIENTO DE RIEGO:

- 3 tratamientos de riego: 100% (T100), 75% (T50) y 50% (T25) sobre las necesidades de cultivo calculadas mediante el método FAO Penman-Monteith con 3 repeticiones.

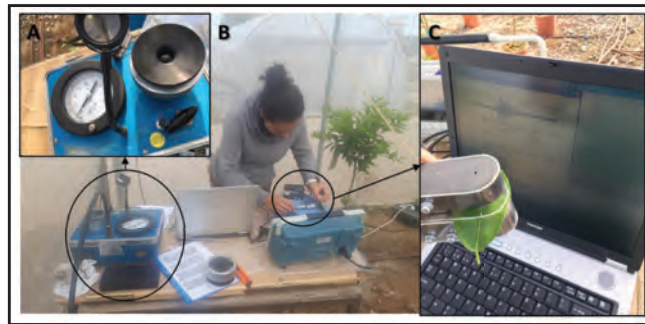
INSTALACIÓN DE RIEGO:

- Riego localizado.
- Ejecutado con emisores de 2 l/h.
- Automatizado mediante un programador.

POTENCIAL HÍDRICO DE TALLO AL MEDIODÍA SOLAR:

- Mediante una cámara de presión: Model 600, PMS.
- Sobre 12 hojas por tratamiento, elegidas aleatoriamente

Espectroscopia Ultrasónica Resonante Sin Contacto (NC-RUS)



A) Cámara de presión; B) Toma de medidas en paralelo con las dos técnicas contempladas; C) Sistema portátil NC-RUS

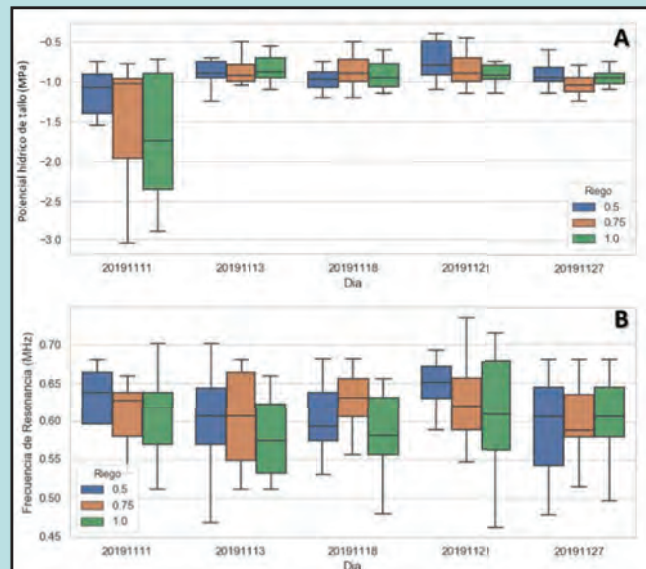
EQUIPO DE ULTRASONIDOS:

- ☐ Dos transductores de ultrasonidos diseñados para su uso en aire (USBioMat, ITEFI-CSIC).
- ☐ Rango de frecuencias de trabajo de los sensores/transductores ultrasónicos: 0.3 y 0.8 MHz.
- ☐ Soporte para mantener los sensores enfrentados a 30 mm de distancia
- ☐ Excitación mediante pulser-reciever 5077PR, Olympus con pulso de semionda cuadrada de 400 V.
- ☐ Digitalización de las señales mediante el osciloscopio DPO2002, Tektronix.
- ☐ Control de los dispositivos vía USB por un portátil donde también se guardaron las señales.

PROCESAMIENTO:

- Filtrado de las señales (frecuencia de corte de 10 MHz).
- Transformada de Fourier rápida sobre las señales recibidas sustrayendo el blanco de calibración y corrigiendo en ganancia (Numpy, Scipy y pyVISA, Python).

3 Resultados y Discusión



Valores medidos sobre hojas con diferente tratamiento de riego a lo largo de las jornadas de 5 jornadas de experimentación a mediodía solar: A) potencial hídrico de tallo; B) frecuencia de resonancia

CONCLUSIONES

- La Espectroscopia Resonante Ultrasónica Sin Contacto (NC-RUS) ha demostrado ser una técnica que puede aplicarse en hojas de *Clemenules* en campo mediante la implementación de un sistema portátil.
- Sin embargo, a lo largo de los experimentos, no pudieron observarse cambios significativos en el potencial hídrico de tallo que den cabida a correlacionar con los datos de frecuencia de resonancia provenientes de NC-RUS. Las plantas mantuvieron un estado hídrico adecuado debido a las condiciones climáticas que condicionaron una baja demanda evapotranspirativa del cultivo.
- En consecuencia, se volverán a tomar medidas con ambas técnicas sobre los plantones el próximo verano, cuando se espera alcanzar niveles de estrés elevados.

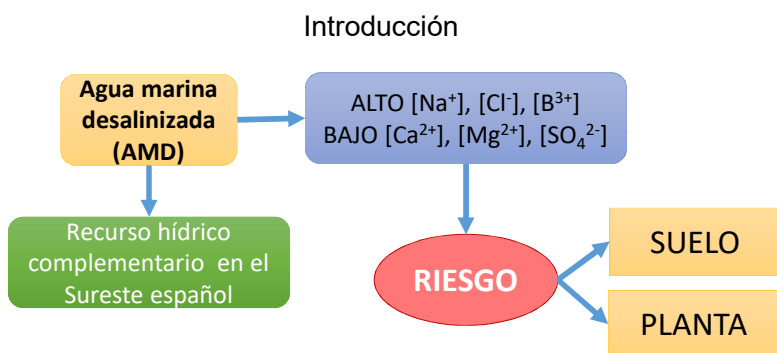
RIEGO DE UN CULTIVO DE CITRICOS CON AGUA MARINA DESALINIZADA. RESULTADOS PRELIMINARES EN SUELO Y PLANTA

Navarro, J.M.¹, Robles, J.M.¹, Antolinos, V.¹, Botía, P.¹, Hernández, F.M.¹, Olivares, L.¹, Arques, E.¹, Maestre-Valero, J.F.², Martínez-Alvarez, V.², Jodar, F.J.², Acosta-Avilés J.A.², Pérez-Pérez, J.G.^{1,3}

¹ IMIDA, C/Mayor s/n, Murcia 30150, Spain josefam.navarro2@carm.es

² UPCT, Paseo Alfonso XIII, Cartagena, 48. 30203, Spain

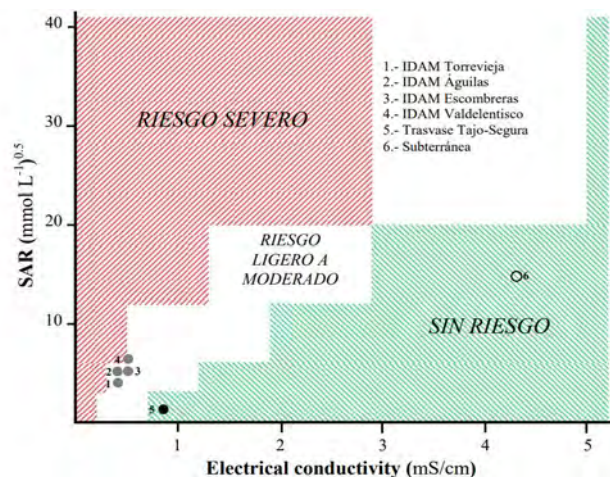
³ IVIA, CV-315 km 10.7, Moncada, 46113, Spain



Objetivo

Promover la sostenibilidad agronómica del AMD, minimizando los riesgos de fitotoxicidad por Cl^- , Na^+ o B^{3+} y de sodificación de suelos

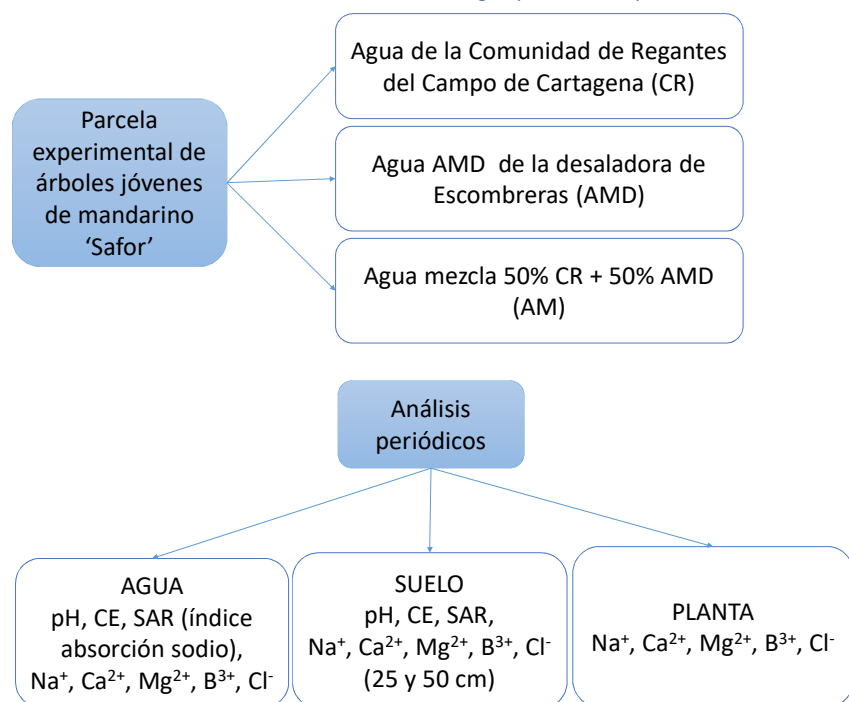
Evaluación del impacto sobre el suelo y la planta en un cultivo de cítricos, caracterizado por su sensibilidad a las características físico-químicas del AMD



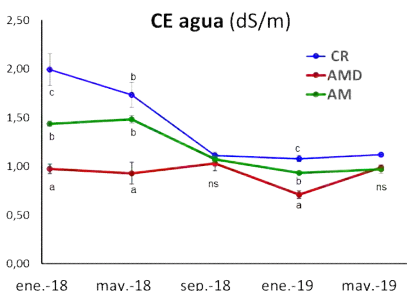
Riesgo de alcalinización del suelo por el riego con agua marina desalinizada de cuatro plantas desalinizadoras del sureste de España, junto a la de otros suministros convencionales (trasvase Tajo-Segura y agua subterránea del Campo de Cartagena)

Material y Métodos

Riego (20 meses)



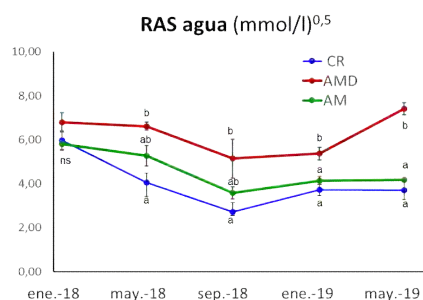
Resultados



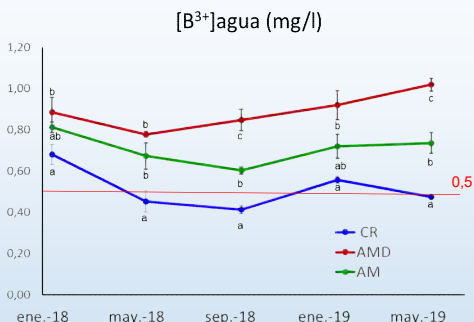
La calidad del agua CR varía en función de la disponibilidad de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena de agua del Trasvase Tajo-Segura.

El valor medio de la CE del AMD es inferior (0,9 dS/m) al del agua CR (1,4 dS/m).

Las membranas de ósmosis eliminan Na^+ pero también Ca^{2+} , Mg^{2+} , aumentando el índice RAS, y por tanto el riesgo de sodicidad del suelo.

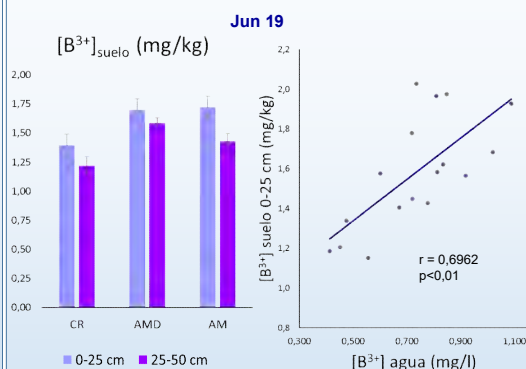


B³⁺ AGUA



La $[\text{B}^{3+}]_{\text{agua}}$ AMD fue superior a la de CR, produciendo una acumulación progresiva en el suelo.

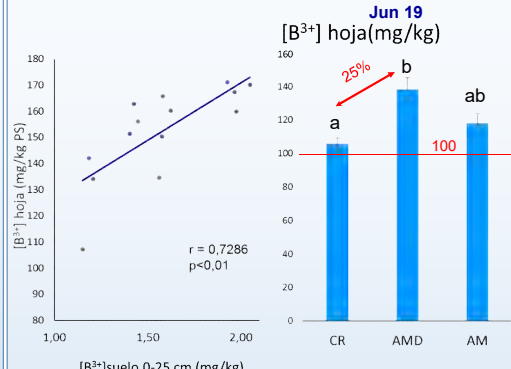
B³⁺ SUELO



El suelo al final del ensayo regado con AMD presentó un 25% más de B^{3+} que el regado con CR.

La $[\text{B}^{3+}]_{\text{suelo 0-25 cm}}$ se correlacionó con la $[\text{B}^{3+}]_{\text{agua}}$ y también con $[\text{B}^{3+}]_{\text{hoja}}$.

B³⁺ PLANTA

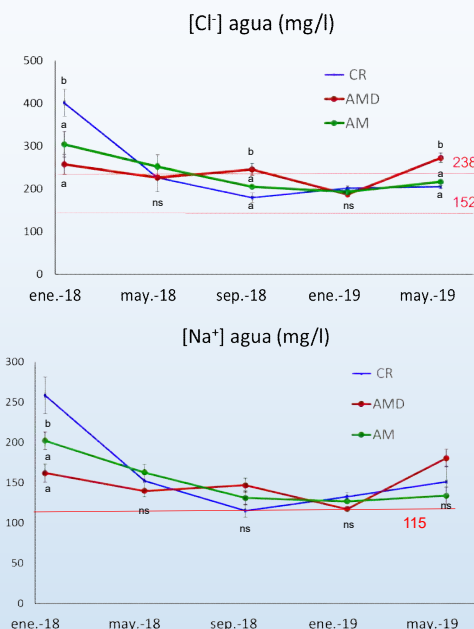


$[\text{B}^{3+}]_{\text{agua}} > 0,5 \text{ mg/l}$ (máximo recomendado para riego de cítricos), por lo que $[\text{B}^{3+}]_{\text{hoja}} > 100 \text{ mg/kg}$ (umbral toxicidad cítricos).

Después de regar durante 20 meses con AMD los árboles tuvieron $[\text{B}^{3+}]_{\text{planta}}$ 25% más de B^{3+} que los regados con CR.

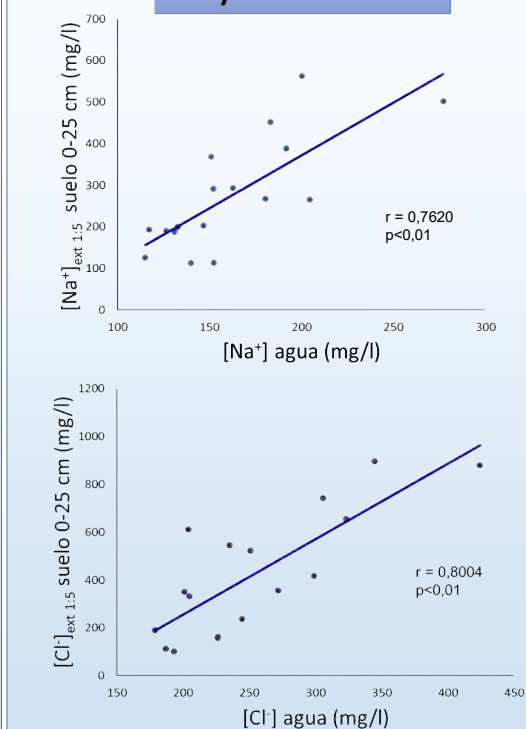
Sin embargo, no hubo síntomas de toxicidad ya que a estos niveles los daños en los cítricos son leves y además el tiempo de exposición ha sido corto.

Cl⁻ y Na⁺ AGUA



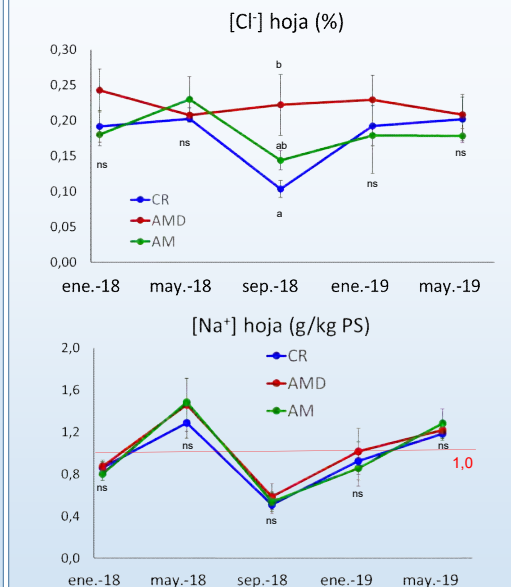
Las $[\text{Cl}^{-}]_{\text{agua}}$ y $[\text{Na}^{+}]_{\text{agua}}$ fueron similares en los tres tipos de agua, superando los umbrales a partir de los cuales pueden producir toxicidad en cítricos.

Cl⁻ y Na⁺ SUELO



Alta correlación entre los niveles de Cl^{-} y Na^{+} del agua con los de Cl^{-} y Na^{+} de la capa superficial del suelo.

Cl⁻ y Na⁺ PLANTA



La $[\text{Cl}^{-}]_{\text{hoja}}$ permaneció lejos del umbral de toxicidad establecido para cítricos (1%).

La $[\text{Na}^{+}]_{\text{hoja}}$ estuvo próxima a su umbral de toxicidad.

Conclusiones

Los niveles foliares de B^{3+} han superado el umbral de toxicidad transcurridos 20 meses cuando se utiliza AMD pero no cuando se mezcla esta agua con CR, siendo una alternativa interesante con el fin de evitar la toxicidad producida por las altas concentraciones de B^{3+} en las AMD. Se recomienda el control periódico de los niveles foliares de B^{3+} y Na^{+} para detectar problemas de toxicidad específica de estos iones.

Los resultados obtenidos en este ensayo son preliminares ya que este estudio debe extenderse durante un periodo más largo para obtener datos más concluyentes acerca de los efectos a largo plazo de la utilización de AMD tanto en el suelo como en la planta.

A-28-2020

RIEGO DE UN CULTIVO DE CITRICOS CON AGUA MARINA DESALINIZADA. RESULTADOS PRELIMINARES EN SUELO Y PLANTA

Navarro JM (1) (P), Robles, JM (1), Antolinos, V (1), Botía, P (1), Hernández FM (1), Olivares, L (1), Arques, E (1), Maestre-Valero, V (2), Martínez-Alvarez, V (2), Jodar, FJ (2), Acosta-Avilés, JA (2), Pérez-Pérez, JG (3)

¹ IMIDA, C/Mayor s/n 3015 La Alberca (Murcia)

² UPCT, Paseo Alfonso XIII 48, 30203 Cartagena (Murcia)

³ IVIA, Crta. CV-315 km 10,7. 46113 Moncada (Valencia)

Resumen

La escasez de agua y la creciente presión sobre los recursos hídricos en las regiones semiáridas ha extendido la utilización para el riego de recursos hídricos no convencionales, como el agua marina desalinizada (AMD). Debido a su composición en Cl^- , Na^+ y B^{3+} , el riego con AMD podría causar problemas agronómicos y afectar al suelo y a los cultivos a medio y largo plazo. En este estudio, se regó una parcela de mandarinos durante 20 meses con (i) agua proporcionada por la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CR), (ii) agua marina desalinizada (AMD) y (iii) mezcla de agua 50% CR y 50% AMD (AM). Se evaluó el efecto sobre la dinámica y acumulación de los iones tóxicos Cl^- , Na^+ y B^{3+} en el suelo y en la planta. La $[\text{B}^{3+}]$ del agua AMD fue superior a la de CR, acumulándose en el suelo, con una concentración un 25% superior a la encontrada con CR al final del ensayo. La $[\text{B}^{3+}]$ en la capa superficial del suelo se correlacionó con la $[\text{B}^{3+}]$ en el agua y con la $[\text{B}^{3+}]$ en la hoja. Aunque tras 20 meses los árboles regados con AMD tuvieron una $[\text{B}^{3+}]$ foliar un 25% superior a la de árboles regados con CR, no presentaron síntomas de toxicidad. Las $[\text{Cl}^-]$ y $[\text{Na}^+]$ del agua fueron similares en los tres tipos de agua, superando los umbrales a partir de los cuales pueden producir toxicidad en cítricos. Las concentraciones de Cl^- y Na^+ en hoja permanecieron por debajo del umbral de toxicidad establecido para cítricos. Los resultados obtenidos son preliminares ya que este estudio debería extenderse durante un periodo más largo para obtener datos más concluyentes acerca de los efectos a largo plazo de la utilización de AMD tanto en el suelo como en la planta.

1- Introducción

El agua marina desalinizada (AMD) se ha convertido en una opción viable como recurso complementario para el riego en agricultura de regadío, principalmente en regiones del sureste español donde se alcanzan los niveles más altos de escasez hídrica de Europa. Aunque el AMD se caracteriza por una baja salinidad no puede considerarse agua de buena calidad ya que su composición de sales es determinante en su calidad para uso agrícola. Las concentraciones de Na^+ y Cl^- pueden ser elevadas, mientras que la presencia de Ca^{2+} , Mg^{2+} y SO_4^{2-} es mínima (Yermiyahu y col., 2007a,b), pudiendo producirse carencias nutricionales cuando se sustituyen los recursos hídricos naturales por AMD (Yermiyahu y col., 2007a,b; Avni y col., 2013). Además, puede producirse la sodificación del suelo debido a una elevada relación $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ de estas aguas, muy superior a la de aguas naturales, con un impacto muy negativo en el desarrollo de los cultivos (Figura 1). Además, el AMD tiene elevadas concentraciones de B^{3+} cuyo exceso puede producir toxicidad específica en los cultivos ya

que retrasa el desarrollo y reduce el crecimiento y la producción de la planta (Grieve y col., 2012; Gimeno y col., 2012).

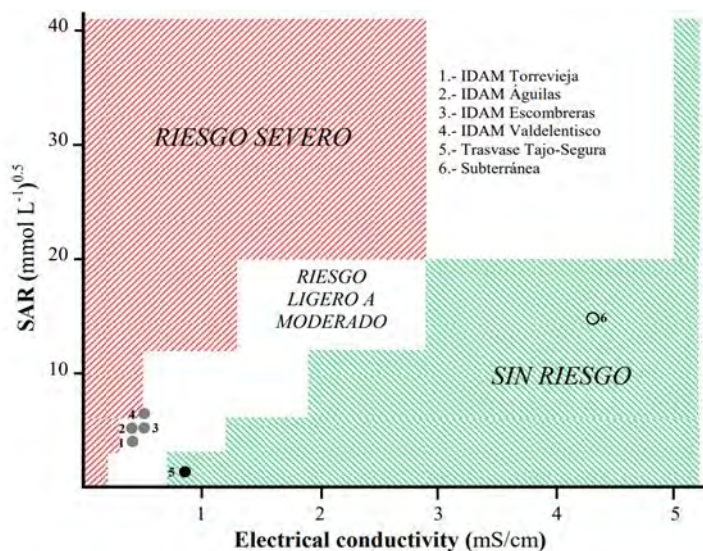


Figura 1. Riesgo de alcalinización del suelo por el riego con agua marina desalinizada de cuatro plantas desalinizadoras del sureste de España, junto a la de otros suministros convencionales (trasvase Tajo-Segura y agua subterránea del Campo de Cartagena).

La singularidad de la composición físico-química del AMD (i.e. baja concentración de nutrientes esenciales; riesgo de fitotoxicidad en cultivos sensibles debido a altos niveles de boro y cloruro; baja capacidad tampón y problemas derivados de estabilidad del pH en sistemas de fertirrigación; y riesgo de sodicidad del suelo) hacen necesaria la experimentación en ensayos de riego, así como el manejo conjunto con otras fuentes de agua, con el fin último de garantizar su viabilidad agronómica (Martínez-Álvarez y col., 2016; Maestre-Valero y col., 2020).

Los problemas generados por la utilización de AMD tienen mayor relevancia en zonas semiáridas como el sureste español donde debido al gran desarrollo agrícola el agua es el factor más limitante siendo el uso de AMD una alternativa cada vez más demandada (Martínez-Alvarez y col., 2017). La generación de conocimiento científico sobre la aplicación de AMD y su transferencia a nivel de parcela resulta de especial relevancia ante el escenario actual de incorporación masiva de AMD en la agricultura de regadío, promoviendo su sostenibilidad agronómica y minimizando riesgos como la fitotoxicidad por Cl^- , Na^+ o B^{3+} , así como de sodificación de suelos.

2- Objetivos

Este estudio evalúa el impacto sobre el suelo y la planta del riego con AMD en un cultivo de cítricos del sureste español, caracterizado especialmente por su sensibilidad a las características físico-químicas del AMD. Se ha analizado su idoneidad en base a algunos estándares de calidad para la protección del suelo y del cultivo.

3- Material y Métodos

En una parcela experimental de árboles jóvenes de mandarina 'Safor' injertados en *Citrus macrophylla*, situada en Torre Pacheco, Murcia ($37^\circ 47'30''$ N; $1^\circ 03'85''$ W), se aplicaron durante 20 meses tres tratamientos de riego con agua de diferente calidad: 1) agua suministrada por la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CR), 2) agua AMD de la desaladora de Escombreras de Cartagena (AMD), 3) mezcla al 50% de aguas CR y AMD (AM). El diseño experimental consistió en 9 bloques (3 bloques/tratamiento), de 180 m^2 cada

uno. Cada bloque estaba formado por 12 árboles organizados en tres filas adyacentes con 4 árboles/fila. Los dos árboles centrales de la fila central se utilizaron para realizar las medidas experimentales (los otros diez árboles se consideraron árboles guarda), de manera que el número de repeticiones fueron 6 árboles/tratamiento.

Los tres tipos de agua se analizaron mensualmente (pH, conductividad eléctrica, índice de adsorción de sodio, B^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , Na^+) y el suelo se muestreó cada cuatro meses a dos profundidades, 25 y 50 cm (pH, conductividad eléctrica, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- y Na^+ del extracto 1:5 y B^{3+}). Mensualmente se hicieron muestreos foliares para la determinación de B^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , Na^+ . Los análisis de pH y conductividad se realizaron mediante un pH-metro Crison 507 y medidor GLP-31 respectivamente. Los análisis de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y B^{3+} se han realizado mediante ICP (Varian MPX Vista Radial) y el Cl^- mediante cromatografía iónica (Dionex ICS 3000).

Los datos se analizaron realizando un análisis de la varianza (Anova) y un test de separación de medias mediante el test de rango múltiple de Duncan, utilizando el programa estadístico SPSS 7.5.1.

4- Resultados y Discusión

La calidad del agua CR varió en función de la disponibilidad de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena de agua del Trasvase Tajo-Segura (Figura 2). El valor medio de la CE del AMD fue inferior (0,9 dS/m) al del agua CR (1,4 dS/m) ya que las membranas de ósmosis eliminan la mayor parte de los iones. Sin embargo, a la vez que se eliminan iones no deseados (Na^+ o Cl^-), también lo hacen nutrientes esenciales para la planta (Yermiyahu y col., 2007a,b), especialmente iones divalentes como Ca^{2+} , Mg^{2+} y SO_4^{2-} , de elevado peso molecular. La composición iónica del agua resultante incrementa el índice RAS (Figura 2), aumentando el riesgo de sodicidad del suelo y de alteración de las propiedades físicas del mismo causando la dispersión de las arcillas, que podría producir un colapso de los agregados del suelo, disminución de la conductividad hidráulica del suelo, problemas de erosión, compactación del suelo y disminución de la aireación del suelo (Mandal y col., 2008; Muyen y col., 2011). Según los valores medios de RAS y CE encontrados en los tres tipos de agua a lo largo del ensayo, según la Figura 1 solo el riego con AMD podría inducir un cierto riesgo de sodicidad en el suelo. Debido a la baja CE que presenta el agua AMD, este riesgo de sodicidad podría ser corregido ajustando la fertilización en este tipo de agua aumentando la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} para desplazar al Na^+ del complejo de cambio del suelo y reduciendo así el índice de absorción de sodio del suelo. Otra alternativa sería la utilización de otros tipos de aguas convencionales para la mezcla con agua AMD y conseguir un agua de características similares a la del tratamiento AM, con valores de RAS inferiores los del AMD y por tanto con menor riesgo para el suelo.

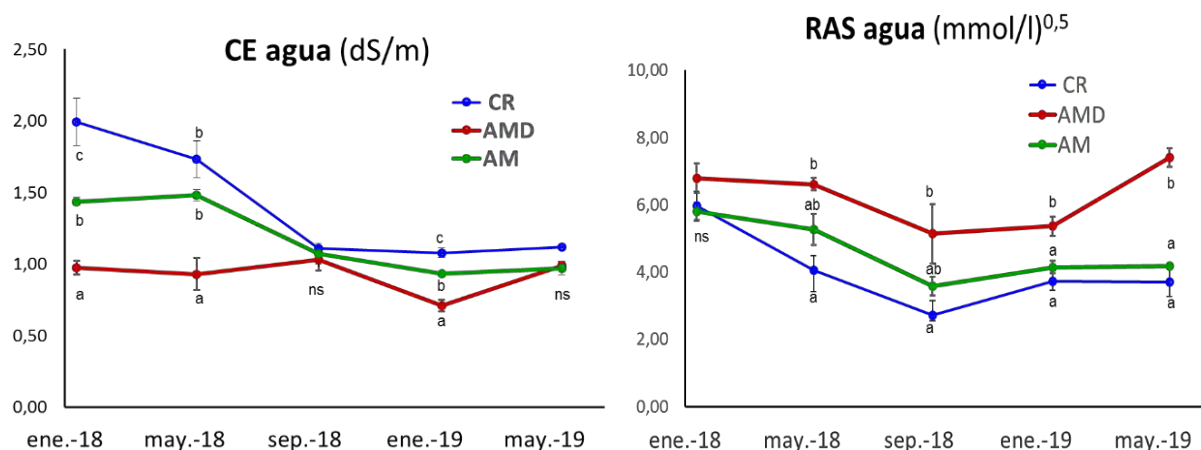


Figura 2. Evolución de la conductividad eléctrica (CE) y el índice de absorción de sodio (RAS) de los tres tipos de agua durante el ensayo. Agua de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena: CR; agua marina desalinizada: AMD; agua mezcla 50% CR + 50% AMD, AM.

La concentración media de B^{3+} en AMD (0.91 mg/L) fue superior a la del agua CR (0.52 mg/L) (Figura 3), debido a la baja selectividad de las membranas en el proceso de ósmosis ya que este elemento tiene un bajo peso molecular. Esta elevada concentración de B^{3+} en AMD produjo una acumulación progresiva en el suelo, principalmente a 0-25 cm, de manera que, al final del ensayo, el suelo a 0-25 cm y a 25-50 cm presentó un 25% más de B^{3+} respecto al regado con CR (Figura 3).

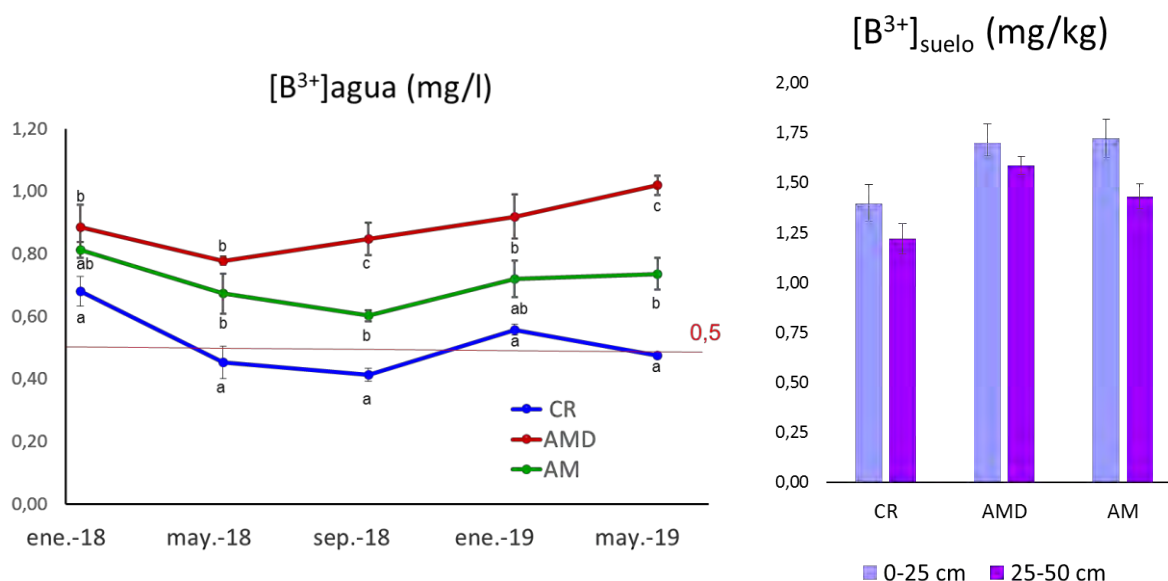


Figura 3. Evolución de la concentración de B^{3+} en el agua de riego a lo largo del ensayo (izquierda) y concentración de B^{3+} en el suelo a dos profundidades 0-25 cm y 25-50 cm al finalizar el ensayo (derecha). Agua de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena: CR; agua marina desalinizada: AMD; agua mezcla 50% CR + 50% AMD, AM.

Se encontró una alta correlación entre el contenido de B^{3+} en los tres tipos de agua y el B^{3+} de la capa superficial del suelo y éste a su vez se correlacionó con el nivel foliar de B^{3+} (Figura 4). Los tres tipos de agua presentaron niveles de B^{3+} superiores a 0,5 mg/L (Figura 3), valor máximo recomendado para el riego de cítricos (Grattan y col., 2015; Martínez-Alvarez y col., 2017), por lo que los niveles foliares en los tres tratamientos superaron ligeramente el valor umbral de toxicidad establecido en 100 mg/kg (Figura 5), aunque el rango de concentraciones donde se producen daños de ligeros a moderados está entre 100 y 300 mg/kg (Grattan y col., 2015). Durante el periodo experimental, los árboles no manifestaron síntomas de toxicidad ya que a estos niveles los daños que produce el B^{3+} en los cítricos son leves y además el tiempo de exposición a estas concentraciones fue relativamente corto. Al finalizar el ensayo los árboles regados con AMD tuvieron un 25% más de B^{3+} que los regados con CR mientras que no hubo diferencias entre árboles regados con AM y CR. Otros estudios en los que se ha regado durante 10 años consecutivos un cultivo de cítricos con concentraciones de B^{3+} en torno a 1 mg/l, no se encontraron niveles tóxicos de este elemento en la hoja (Abu-Daba'an y Al-Najar, 2018). Sin embargo, estos autores también concluyen que debido a su carácter acumulativo, un periodo mayor de tiempo podría producir acumulaciones dañinas para la planta.

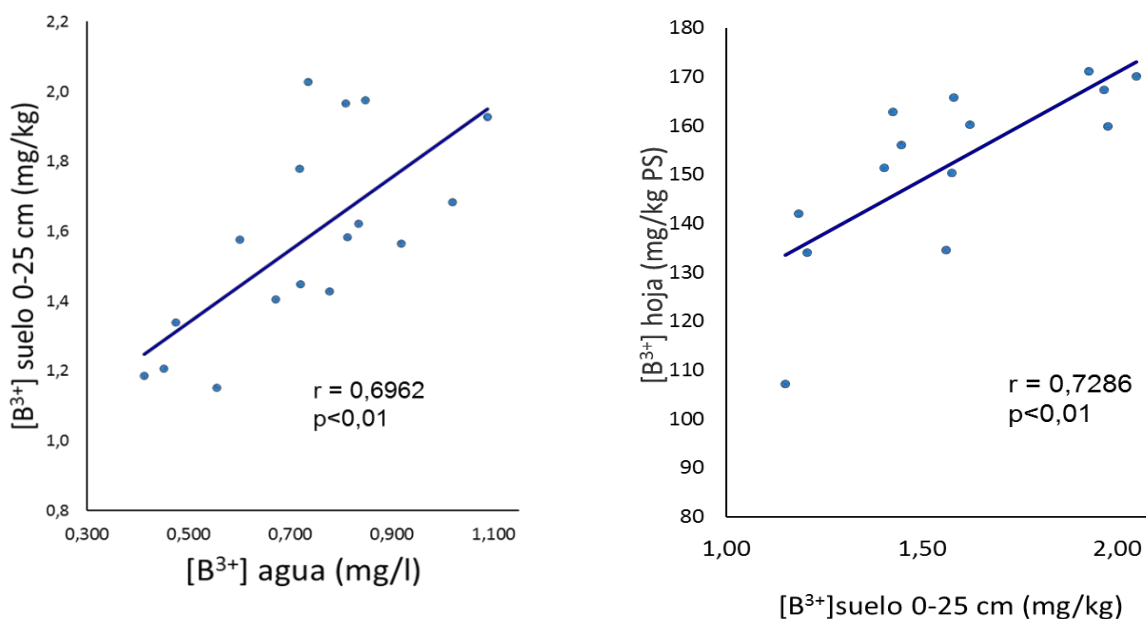


Figura 4. Correlación encontrada entre las concentraciones de B^{3+} de los tres tratamientos de agua a lo largo del año con la concentración de B^{3+} de la capa superficial del suelo en los tres tratamientos (izquierda). Correlación de la concentración de B^{3+} de la capa superficial del suelo con la concentración B^{3+} del árbol en los tres tratamientos durante el desarrollo del experimento (derecha).

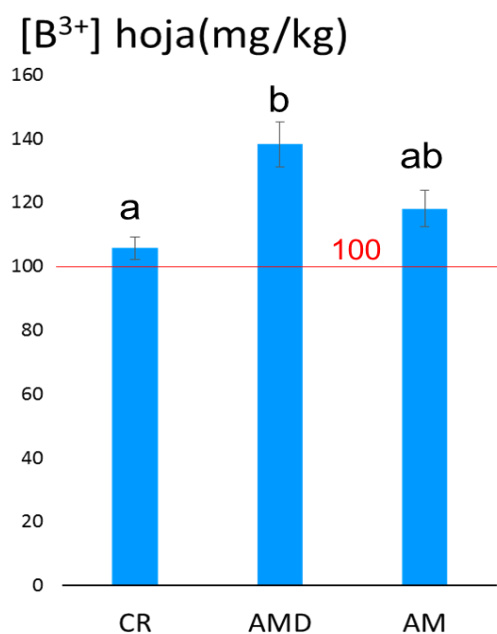


Figura 5. Concentraciones foliares de B^{3+} tras aplicar los tres tratamientos de agua durante 20 meses. Agua de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena: CR; agua marina desalinizada: AMD; agua mezcla 50% CR + 50% AMD, AM.

Los niveles de Cl^- y Na^+ fueron similares en los tres tipos de agua, superando ambos iones los umbrales establecidos por Grattan y col. (2017) a partir de los cuales pueden producir toxicidad en cítricos (Figura 6). A pesar de que la selectividad de las membranas de ósmosis del proceso de desalación es muy alta para estos iones, su concentración en el agua

AMD fue todavía muy elevada debido a la gran concentración de estos iones en el agua marina.

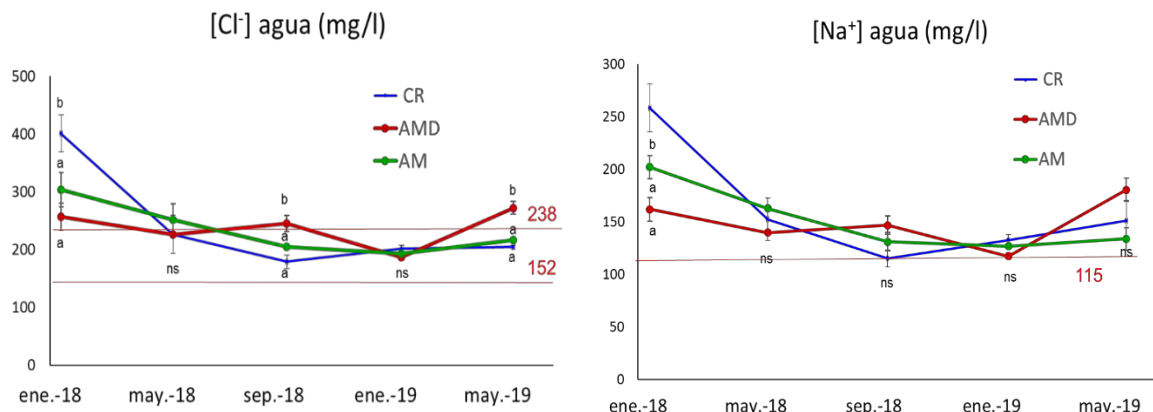


Figura 6. Evolución de la concentración de Cl^- y Na^+ en el agua de riego a lo largo del ensayo. Agua de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena: CR; agua marina desalinizada: AMD; agua mezcla 50% CR + 50% AMD, AM.

A pesar de los elevados niveles de Cl^- en agua AMD, no aumentaron los niveles foliares de Cl^- , permaneciendo muy por debajo de los niveles de toxicidad establecidos por Grattan y col. (2017) para cítricos en 1%. (Figura 7). Además, en general no hubo diferencias entre los tres tratamientos, a excepción de los encontrados en los meses de primavera-verano de 2018 en los que la concentración de Cl^- en las hojas de los árboles regados con AMD fue significativamente superior a la encontrada en los árboles regados con CR (Figura 7).

Por otra parte, las concentraciones de Na^+ estuvieron próximos al umbral inferior de toxicidad de 1,0 g/kg pero siempre alejados del umbral máximo establecido en 2.5 g/kg (Grattan y col., 2017) (Figura 7). Los árboles tuvieron un aporte óptimo de K^+ y Ca^{2+} , lo que pudo limitar la absorción de Na^+ por parte de la raíz y su transporte a la parte aérea (Rubio y col., 2003; Grieve y col., 2012). Por otra parte, ninguno de los tratamientos de agua modificó las concentraciones de Cl^- y Na^+ encontradas en los árboles al finalizar el ensayo.

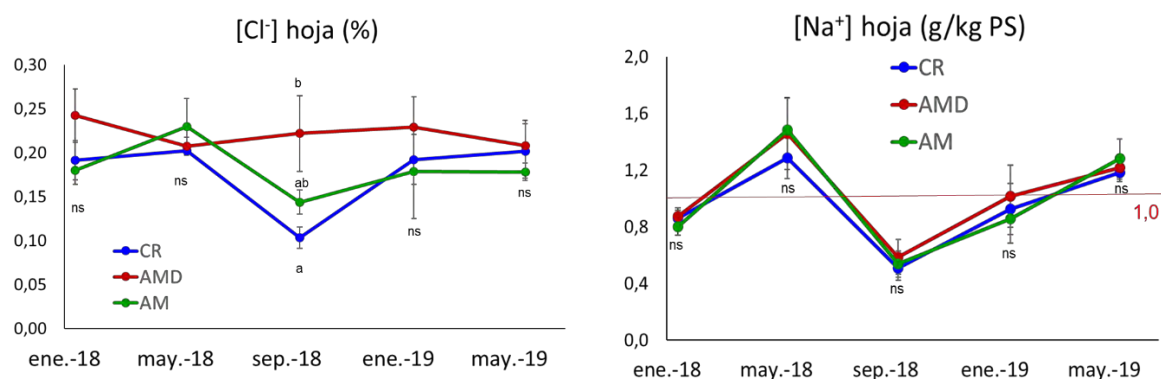


Figura 7. Evolución a lo largo del ensayo de la concentración de Cl^- y Na^+ encontrados en los árboles regados con los diferentes tipos de agua. Agua de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena: CR; agua marina desalinizada: AMD; agua mezcla 50% CR + 50% AMD, AM.

Teniendo en cuenta la variabilidad de la concentración de Cl^- y Na^+ en las aguas de riego durante el ensayo, se encontró una alta correlación positiva entre los niveles de Cl^- y Na^+ del agua con los de Cl^- y Na^+ de la capa superficial del suelo (Figura 8). Sin embargo, no

se encontraron correlaciones de los niveles de estos elementos en el agua de riego con lo encontrados en las hojas (datos no mostrados).

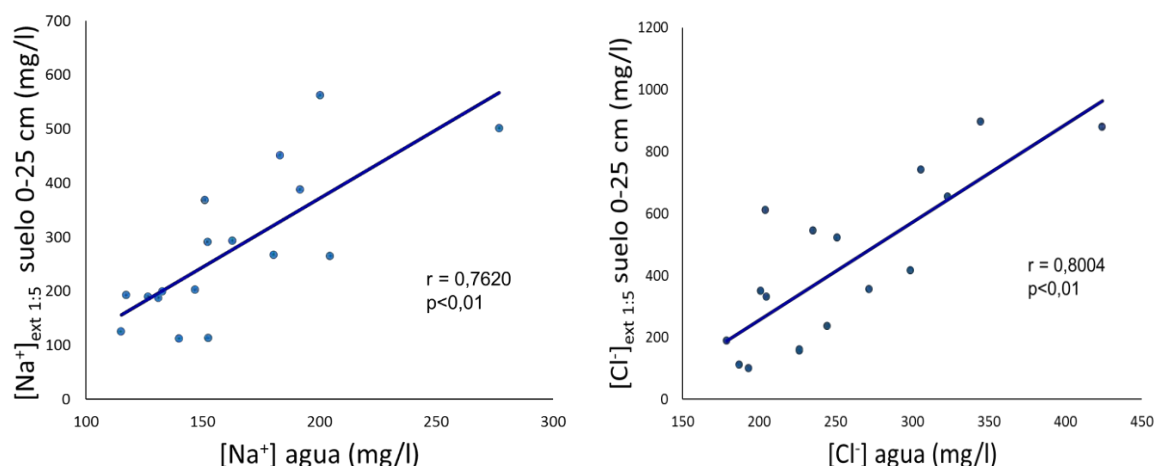


Figura 8. Correlación encontrada entre las concentraciones de Na⁺ en los tres tratamientos de agua a lo largo del año con la concentración de Na⁺ de la capa superficial del suelo en los tres tratamientos (izquierda). Correlación encontrada entre las concentraciones de Cl⁻ en los tres tratamientos de agua a lo largo del año con la concentración de Cl⁻ de la capa superficial del suelo en los tres tratamientos (derecha).

5- Conclusiones y Recomendaciones

A pesar de los riesgos de sodicidad del AMD, debido a su baja CE, tales riesgos podrían corregirse ajustando los programas de fertirrigación para aumentar la cantidad de Ca²⁺ y Mg²⁺ para desplazar al Na⁺ del complejo de cambio, reduciendo así el RAS, o mezclando AMD con CR u otras aguas de mayor dureza. Se recomienda un estudio periódico del suelo para detectar cualquier deterioro de su estructura, especialmente en suelos con alto contenido de arcilla, donde el riesgo de sodicidad puede ser importante.

Los niveles foliares de B³⁺ han superado el umbral de toxicidad transcurridos 20 meses cuando se utiliza AMD pero no cuando se mezcla esta agua con CR, siendo una alternativa interesante con el fin de evitar la toxicidad producida por las altas concentraciones de B³⁺ en las AMD. Se recomienda el control periódico de los niveles foliares de B³⁺ y Na⁺ para detectar problemas de toxicidad específica de estos iones.

Los resultados obtenidos en este ensayo son preliminares ya que este estudio debe extenderse durante un periodo más largo para obtener datos más concluyentes acerca de los efectos a largo plazo de la utilización de AMD tanto en el suelo como en la planta.

8.- Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades – Agencia Estatal de Investigación – a través de los proyectos SEARRISOST (RTC-2017-6192-2) y RIDESOST (AGL2017-85857).

9- Bibliografía

Abu-Daba'an, R., Al-Najar, H. (2018). The effect of long term irrigation by treated effluent on boron accumulation in soil and citrus plants. *Asian Rev. Environ. Earth Sci.* 5, 22-26.

Avni, N., Eben-Chaime, M., Oron, G. (2013) Optimizing desalinated sea water blending with other sources to meet magnesium requirements for potable and irrigation waters. *Water Res.* 47, 2164-2176.

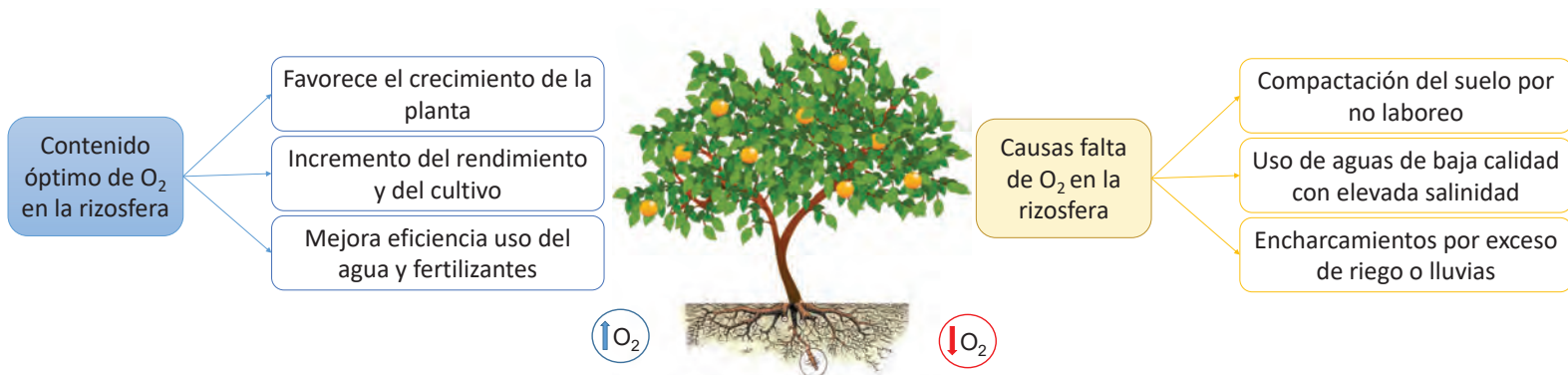
- Gimeno, V., Simón, I., Nieves, M., Martínez, V., Cámara-Zapata, J.M., García, A.L., García-Sánchez, F. (2012) The physiological and nutritional responses to an excess of boron by Verna lemon trees that were grafted on four contrasting rootstocks. *Trees*. 26:1513-1526.
- Grattan, S.R., Díaz, F.J., Pedrero, F., Vivaldi, G.A. (2015). Assessing the suitability of saline wastewaters for irrigation of Citrus spp.: Emphasis on boron and specific-ion interactions. *Agricultural Water Management* 157, 48–58.
- Grieve, C.M., Grattan, S.R., Maas, E.V. (2012) Plant salt tolerance in agricultural salinity assessment and management. In: Wallender, W.W., Tanji, K.K. (Eds.), *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 71*. Second ed. American Society of Civil Engineers (ASCE). Reston, VA. Pp. 405-459.
- Maestre-Valero, J.F., Martínez-Alvarez, V., Jódar-Conesa, F.J., Acosta, J.A., Martín-Gorriz, B., Robles, Pérez-Pérez, J.G., Navarro, J.M. (2020). Short-term response of Young mandarin trees to desalinated seawater irrigation. *Water*, 12, 159.
- Mandal, U.K., Bhardwaj, A.K., Warrington, D.N., Goldstein, D., Tal, A.B., Levy, G.J. (2008). Changes in soil hydraulic conductivity, runoff, and soil loss due to irrigation with different types of saline-sodic water. *Geoderma* 144, 509–516.
- Martínez-Álvarez, V., González-Ortega, M.J., Martín-Gorriz, B., Soto-García, B., Maestre-Valero, J.F. (2017). The use of desalinated seawater for crop irrigation in the Segura River Basin (south-eastern Spain). *Desalination*, 422: 153-164.
- Martínez-Álvarez, V., Martín-Gorriz, B., Soto-García, M. (2016). Seawater desalination for crop irrigation – A review of current experiences and revealed key issues. *Desalination*, 381:58-70.
- Muyen, Z., Moore, G.A., Wrigley, R.J. (2011). Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. *Agric. Water Manage.* 99, 33–41.
- Rubio, F., Flores, P., Navarro, J.M., Martínez, V. (2003). Effects of Ca^{2+} , K^{+} and cGMP on Na^{+} uptake in pepper plants. *Plant Science* 165, 1043–1049.
- Yermiyahu, U., Ben Gal, A., Cohen, S., Shemer, D., Golan, D.R., Bar Tal, A. (2007a). Irrigation of crops with desalinated water. Report submitted to Chief Scientist, Israel Ministry of Agriculture and Rural Development. Project # 301-00527-05, 15 pp.
- Yermiyahu, U., Tal, A., Ben-Gal, A., Bar-Tal, A., Tarchitzky, J., Lahav, O. (2007b). Rethinking desalinated water quality and agriculture. *Science*, 318, 920–921.

APLICACIÓN DE LA OXIFERTIRRIGACIÓN PARA OPTIMIZAR LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CÍTRICOS, BASADO EN LA APLICACIÓN DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN EL AGUA DE RIEGO

Robles García, J.M. (P)(1), Botía Ordaz, P. (1), Olivares Quilez, L. (1), Palazón López, J.A.(1), Navarro Acosta, J.M. (1), Arques Pardo, E.M. (1), Martínez Izquierdo, A.V. (1), Hernández Ballester F.M. (1), Pérez-Pérez, J.G. (1-2)

¹ Investigador, Equipo de Riego y Fisiología del Estrés, Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA), La Alberca (Murcia). E-mail: juanm.robles@carm.es
² Investigador, Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible (CDAS), Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), Moncada (Valencia). E-mail: perez_juaperb@gva.es

1. Introducción



2. Objetivo

Evaluar la respuesta fisiológica y agronómica de la aplicación de la oxifertirrigación química, basada en la aplicación de peróxido de hidrógeno, como una herramienta auxiliar para aumentar el contenido de oxígeno a nivel radicular, en árboles adultos de mandarina

3. Material y métodos

Material vegetal y Sistema de cultivo

Árboles de mandarina híbrido var. 'Ortanique' sobre citrange 'Carrizo' en riego por goteo, con un sistema de mantenimiento del suelo de no laboreo

Tratamientos

Control: 100 % ETc (0 ppm H₂O₂)
OXI: 100% ETc (50-100 ppm H₂O₂)

Medidas contenido O₂

Determinación del contenido de O₂ del agua de riego aplicada en el gotero con equipo portátil multifunción (HATCH mod. HQ 40d)

Biometría de la planta

La tasa de crecimiento absoluto del tronco (AGR)

Estado hídrico de la planta y parámetros de intercambio gaseoso

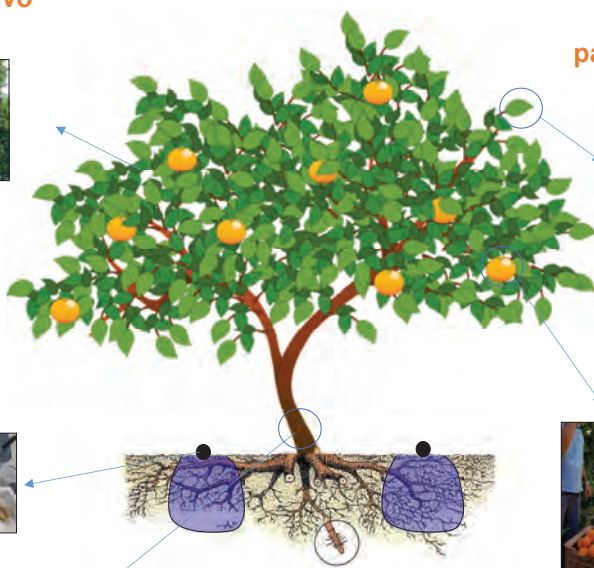
El potencial hídrico de tallo al mediodía (Ψ_{tallo}) se midió utilizando una cámara de presión (modelo 3000; Soil Moisture Equipment Corp.). Las medidas de intercambio gaseoso con un sistema portátil de fotosíntesis (Li-6400, Li-COR)

Producción

Se controló la producción (kg árbol⁻¹) número de frutos y peso medio del fruto de cada árbol. Se calculó la productividad del agua como la relación entre la cosecha y el agua de riego aplicada (kg m⁻³).

Calidad del fruto

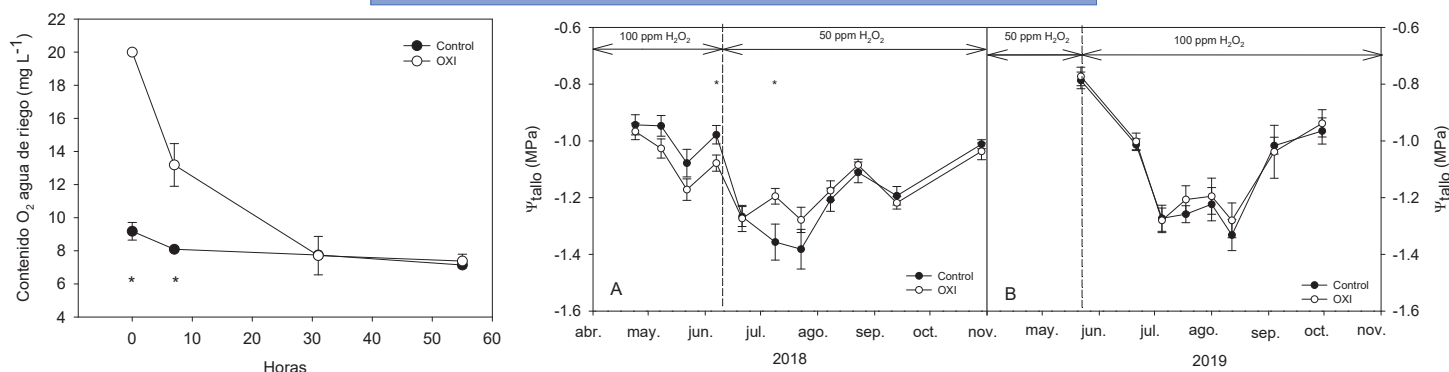
Se evaluó: diámetro del fruto (mm), Índice de color externo (IC_{ext}), espesor de corteza (mm), porcentaje de zumo, corteza y pulpa, sólidos solubles totales (SST; °Brix), acidez valorable (AT; g L⁻¹) e índice de madurez (IM)



Contenido mineral en hoja

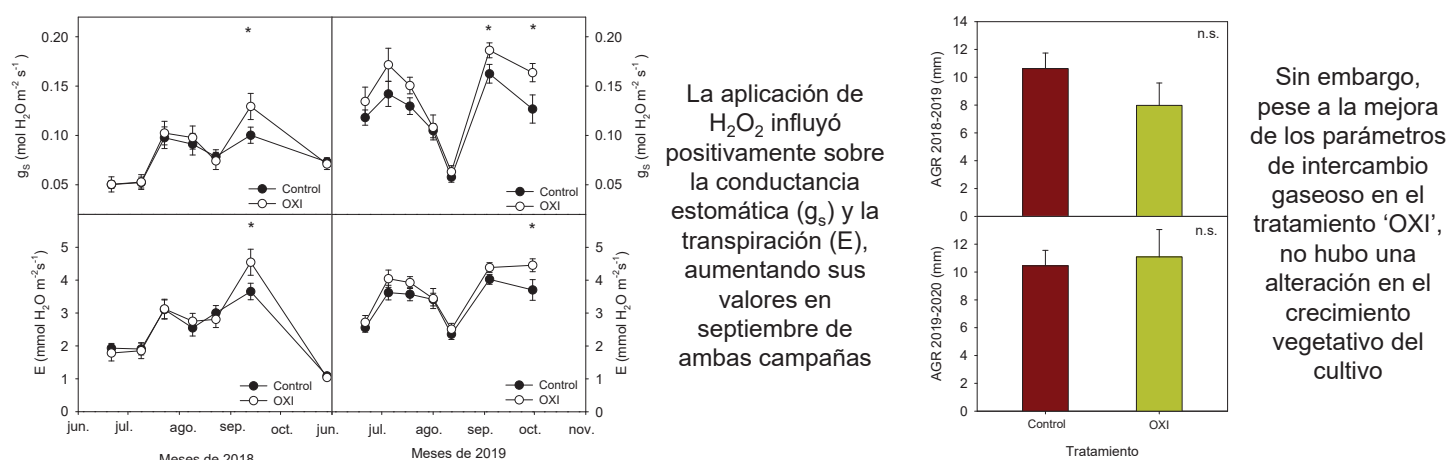
Estado nutricional del cultivo, macroelementos (N, P, K, Ca y Mg) microelementos (Fe, Cu, Mn, Zn y B)

Nivel de O₂ del agua de riego y estado hídrico



El contenido de O₂ disuelto en el agua de riego a la salida del gotero fue significativamente más elevado en el tratamiento 'OXI'. Pese a ello, no supuso una clara mejora del estado hídrico de la planta en dicho tratamiento

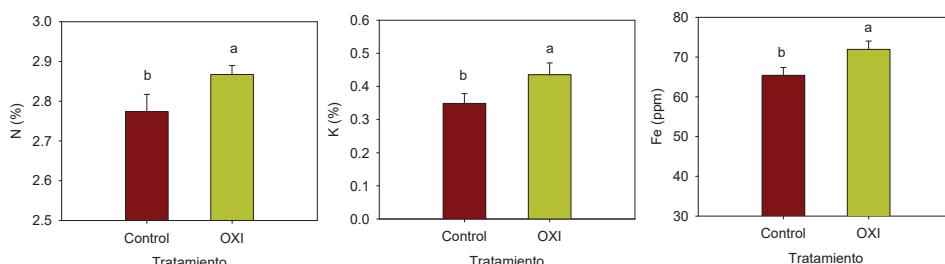
Parámetros de intercambio gaseoso y biometría de la planta



La aplicación de H₂O₂ influyó positivamente sobre la conductancia estomática (g_s) y la transpiración (E), aumentando sus valores en septiembre de ambas campañas

Sin embargo, pese a la mejora de los parámetros de intercambio gaseoso en el tratamiento 'OXI', no hubo una alteración en el crecimiento vegetativo del cultivo

Contenido mineral en hoja



En la segunda campaña, la aplicación de H₂O₂ en el riego favoreció la acumulación de N, K y Fe en hoja.

Producción y calidad del fruto

	nº frutos árbol ⁻¹	Peso Kg árbol ⁻¹	Peso medio (g)	EUA (Kg m ⁻³)
2018-2019				
Control	416	77,9	197,9	11,0
Oxi	421	79,3	199,0	12,1
Anova				
Signif.	ns	ns	ns	ns
2019-2020				
Control	270	53,0	211,8	8,4
Oxi	336	64,6	198,2	10,2
Anova				
Signif.	ns	ns	ns	ns

La respuesta productiva y la eficiencia en el uso del agua no presentaron una mejora significativa a la aplicación de H₂O₂ en el agua de riego

	% Zumo	% Pulpa	% Corteza	SST (°brix)	Acidez (g/L)	I.M.
2018-2019						
Control	54,8 a	3,4	41,6 b	12,4	11,4	10,0
Oxi	52,7 b	3,3	43,5 a	12,2	12,6	9,7
Anova						
Signif.	*	ns	*	ns	ns	ns
2019-2020						
Control	48,5 a	2,8	47,7 b	11,1	12,7 b	8,1 a
Oxi	43,3 b	2,7	53,0 a	10,9	14,7 a	7,4 b
Anova						
Signif.	**	ns	**	ns	*	**

Los mayores niveles de N en el tratamiento 'OXI' afectaron negativamente a la calidad del fruto, reduciendo el porcentaje de zumo y aumentando el porcentaje de corteza. En cambio, la aplicación de H₂O₂ disminuyó el índice de madurez de la fruta.

Conclusiones

La aplicación de la oxifertirrigación mejoró la respuesta fisiológica del cultivo al final de la fase II desarrollo del fruto. Sin embargo, no se ha observado una respuesta clara a mejorar la productividad del cultivo y del agua aplicada. La oxifertirrigación favoreció la acumulación de N en hoja, lo que permitiría reducir la dosis en el plan de abonado. Respecto a la calidad del fruto, pese a reducir el porcentaje de zumo, favorece un retraso en la maduración del fruto lo que resulta interesante en variedades de recolección tardía. El seguimiento del ensayo en años posteriores permitirá confirmar los resultados preliminares obtenidos.

A-30-2020

APLICACIÓN DE LA OXIFERTIRRIGACIÓN PARA OPTIMIZAR LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CÍTRICOS, BASADO EN LA APLICACIÓN DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN EL AGUA DE RIEGO

Robles García, J.M. (P)(1), Botía Ordaz, P. (1), Olivares Quilez, L. (1), Palazón López, J.A.(1), Navarro Acosta, J.M. (1), Arques Pardo, E.M. (1), Martínez Izquierdo, A.V. (1), Hernández Ballester F.M. (1), Pérez-Pérez, J.G. (1-2)

¹ Equipo de Riego y Fisiología del Estrés, Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA), La Alberca (Murcia). E-mail: juanm.robles@carm.es

² Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible (CDAS), Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), Moncada (Valencia). E-mail: perez_juaperb@gva.es

Resumen

En este trabajo se estudia la respuesta fisiológica y agronómica de la aplicación de la oxifertirrigación química, basada en la aplicación de peróxido de hidrógeno como fuente de oxígeno a nivel radicular en cítricos. El ensayo tuvo lugar durante dos campañas (2018-2019 y 2019-2020) en árboles adultos de mandarina híbrido 'Ortanique' ubicados en una parcela experimental del IMIDA en Torre Pacheco (Murcia). Se establecieron dos tratamientos, un tratamiento 'Control' (0 ppm de H_2O_2) y otro identificado como 'OXI' (50-100 ppm de H_2O_2 durante todo el ciclo de cultivo). Ambos tratamientos recibieron la misma cantidad de agua y de fertilizante. El H_2O_2 se aplicó de forma continua con una bomba dosificadora a la red de riego. Los resultados más destacados mostraron que el estado hídrico de los árboles del tratamiento 'OXI' fue muy similar al control. Respecto a los parámetros de intercambio gaseoso, la aplicación de H_2O_2 estimuló una mayor apertura estomática en el mes de septiembre de ambas campañas. Sin embargo, las ligeras alteraciones fisiológicas no han supuesto cambios sustanciales en la biometría de la planta. En la segunda campaña, la aplicación de H_2O_2 en el riego favoreció la acumulación de N, K y Fe en hoja, lo que permitiría reducir la dosis de fertilizante. La respuesta productiva y la eficiencia en el uso del agua no presentaron una clara mejora a la aplicación de H_2O_2 en el agua de riego. Los mayores niveles de N en el tratamiento 'OXI' afectaron negativamente a la calidad del fruto, reduciendo el porcentaje de zumo y aumentando el porcentaje de corteza. En cambio, la aplicación de H_2O_2 disminuyó el índice de madurez de la fruta, lo que resulta interesante de cara a retrasar la recolección en variedades tardías.

1- Introducción

Dentro de los cultivos arbóreos de regadío en la Región de Murcia, los cítricos representan uno de los cultivos más importantes a nivel socioeconómico, siendo el limonero el naranjo y el mandarino los más destacados, con unas producciones en el año 2017 de 555.760 t, 137.345 t y 123.800 t, respectivamente (CARM, 2020).

La climatología de la Región de Murcia es semiárida, y bajo estas condiciones, la viabilidad de las explotaciones agrícolas depende principalmente de la disponibilidad y la gestión de recursos hídricos existentes. Por ese motivo, el manejo del riego y del cultivo dirigido a maximizar la productividad del agua (kg de cosecha por unidad de agua de riego aplicada) (Seckle, 1996) adquiere una gran importancia en esta región.

Para un adecuado desarrollo del cultivo, es necesaria la presencia de oxígeno en la disolución del suelo. Las raíces necesitan una concentración de O_2 adecuada para funcionar correctamente y satisfacer las necesidades de agua y nutrientes de la parte aérea de la planta

(Barret-Lennard, 2003; Meek et al., 1983). Sin embargo, determinadas situaciones pueden producir problemas en la planta por falta de O_2 en el suelo, que pueden provocar un descenso de la producción en agricultura (Bartholomeus et al., 2008). El uso de aguas de baja calidad con elevada salinidad (Navarro y Pérez Pérez, 2019), la compactación del suelo por el no laboreo (Kumar et al., 2018), el riego en exceso o encharcamiento del suelo por lluvias torrenciales (Morales-Olmedo et al., 2015) son las principales causas que pueden ocasionar este problema. La aplicación de productos que permitan mantener altas concentraciones de oxígeno en la rizosfera durante el ciclo de cultivo, puede asegurar un óptimo funcionamiento radicular. Esto favorecerá el crecimiento y rendimiento del cultivo, mejorando la eficiencia en el uso del agua y de los fertilizantes (Bhattarai et al., 2005).

La oxifertirrigación química es una técnica que consiste en la aplicación de compuestos a base de peróxidos directamente en el agua de riego, que durante el proceso de descomposición liberan oxígeno (Marfa y Gurí, 1999; Urrestarazu y Mazuela, 2005). Con ello se pretende conseguir, por un lado, la desinfección del agua, y por otro, enriquecerla con oxígeno. Debido a su rápida velocidad de reacción y su inocuidad para el medio ambiente, no genera ningún tipo de contaminante por ser biodegradable (Carrasco y Urrestarazu, 2010). Dicha técnica, ha sido utilizada con resultados variables en diversos cultivos hortícolas bajo condiciones de hidroponía. En pimiento, la aplicación de la oxifertirrigación mejoró el rendimiento (Marfa et al., 2005; Urrestarazu y Mazuela 2005). En cambio, sobre el mismo cultivo, pero en perlita, no se encontró ningún efecto sobre la biometría de la planta y el rendimiento al aplicar concentraciones crecientes de H_2O_2 (Acuña et al., 2006). En plantación directa en suelo, con textura arcillosa y problemas de falta de oxígeno, la aplicación de H_2O_2 en fertirrigación, aumentó la biomasa total y el rendimiento en calabacín (Bhattarai et al., 2004). En cultivos plantados en un suelo similar, pero en maceta, se obtuvo una mejora de la biomasa y de la productividad en soja y principalmente de la productividad en algodón (Bhattarai et al., 2004). Los cítricos necesitan un adecuado contenido de oxígeno en la disolución de suelo para un buen desarrollo radicular que permita suplir a la parte aérea de los elementos nutricionales necesarios para el cultivo (Labanauskas et al., 1964). Sin embargo, en cítricos, la aplicación de la oxifertirrigación química como herramienta paliativa bajo condiciones de falta de oxígeno está escasamente estudiada.

2- Objetivos

El objetivo principal del experimento fue evaluar la respuesta fisiológica y agronómica de la aplicación de la oxifertirrigación química, basada en la aplicación de peróxido de hidrógeno, como una herramienta auxiliar para aumentar el contenido de oxígeno a nivel radicular, en árboles adultos de mandarina híbrido 'Ortanique'.

3- Material y Métodos

El estudio se realizó durante las campañas de 2018-2019 y 2019-2020 en una parcela experimental de cítricos del IMIDA ubicada en Torre Pacheco (Murcia), la cual posee un suelo representativo del campo de Cartagena (textura franco-arcillo-arenosa), con bajo contenido en materia orgánica (0,53 %) y con un sistema de mantenimiento del suelo de no laboreo. La parcela tiene una superficie de 1 ha y el material vegetal utilizado fueron árboles de 25 años de edad de mandarina híbrido 'Ortanique' (*Citrus sinensis* (L.) Osb. x *Citrus reticulata* Blanco) injertados sobre citrange 'Carrizo' (*Citrus sinensis* Osb. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.) con un marco de plantación de 4 x 3 m. El sistema de riego constó de una línea portagoteros por fila de árboles (renovada al inicio del ensayo), con tres goteros autocompensantes NETAFIG (4 L h^{-1}) por árbol separados 0,75 m de distancia. La programación del riego se realizó semanalmente, utilizando la evapotranspiración de referencia (ET_o) calculada con el método de Penman-Monteith, obtenida a partir de los datos de una estación agroclimática perteneciente al Sistema de Información Agraria de Murcia (SIAM) ubicada en la propia parcela experimental. La dosis de agua de riego se determinó mediante la ecuación:

$$ET_c = ETo \times Kc$$

donde la ETo viene en mm y Kc es el coeficiente de cultivo proporcionado por el SIAM para variedades de mandarino tardías. Ambos tratamientos se recibieron la misma dosis de riego (100% de la ET_c) y la misma cantidad de fertilizante. El diseño experimental fue de bloques al azar, con tres repeticiones por bloque y cuatro bloques por tratamiento. Se establecieron dos tratamientos, un tratamiento 'Control' (0 ppm de H_2O_2) y otro identificado como 'OXI' (50-100 ppm de H_2O_2 durante todo el ciclo de cultivo). En el tratamiento 'OXI' el H_2O_2 se aplicó de forma continua con una bomba dosificadora digital de membrana a la red de riego.

Para el seguimiento del ensayo se realizaron controles, tanto en el gotero como en el cabezal de riego, del contenido de O_2 disuelto en agua, con un equipo portátil multifunción (HATCH mod. HQ 40d). El estado hídrico del cultivo se evaluó mediante la medida del potencial hídrico de tallo al mediodía (Ψ_{tallo}) utilizando una cámara de presión (modelo 3000; Soil Moisture Equipment Corp.). Las medidas de intercambio gaseoso se realizaron quincenalmente, en días soleados, entre las 08:30 y las 10:00 horas con un sistema portátil de fotosíntesis (Li-6400, Li-COR, Lincoln, Nebraska, EE.UU.) obteniendo los valores de fotosíntesis (A_{CO_2}), conductancia estomática (g_s) y transpiración (E_{hoja}). En ambos años se realizó un control del estado nutricional del cultivo en el mes de noviembre, para ello se tomaron muestras de 25 hojas por árbol, completamente maduras, de la brotación de primavera y sin frutos. La variación del perímetro del tronco se determinó mediante el uso de dendrómetros de crecimiento de acero inoxidable ($\pm 0,1$ mm) (mod. DB-20, Environmental Measuring System). La tasa de crecimiento absoluto del tronco (AGR) se calculó según Pérez-Pérez et al., 2014. Al finalizar la segunda campaña, se realizó la poda del cultivo determinando el peso fresco de poda ($kg \text{ árbol}^{-1}$) mediante una báscula digital (± 0.05 kg). En el mes de febrero de ambos años de ensayo, se controló la producción, el número de frutos y se determinó el peso medio del fruto de cada árbol. Se calculó la productividad del agua como la relación entre la cosecha y el agua de riego aplicada ($kg \text{ m}^{-3}$). En el momento de la cosecha, se tomó una muestra de nueve frutos por árbol (12 por tratamiento) para analizar posteriormente la calidad del fruto. Los parámetros físico-químicos de calidad del fruto evaluados fueron: diámetro del fruto (mm), índice de color externo (IC_{ext}), espesor de corteza (mm), porcentaje de zumo, corteza y pulpa, sólidos solubles totales (SST; °Brix), acidez valorable (AT; $g \text{ L}^{-1}$) e índice de madurez (IM) (Pérez-Pérez et al. 2014). El análisis estadístico consistió en un ANOVA unifactorial con dos tratamientos y doce repeticiones por tratamiento (tres árboles monitorizados por tratamiento y bloque) despreciando los árboles situados en los extremos. Para ello se utilizó el paquete estadístico Statsgraphics Centurión XV (StatPoint Technologies Inc.). Para la separación de medias se aplicó el test de rango múltiple de Duncan ($P < 0.05$).

4- Resultados y Discusión

Durante la primera campaña de 2018-2019, la aplicación de 100 ppm de H_2O_2 ocasionó problemas puntuales de obturación de goteros, como consecuencia del arrastre de partículas orgánicas de las paredes de las tuberías secundarias y terciarias que no fueron renovadas. Esto supuso una reducción del agua de riego aplicada del 7% en el tratamiento 'OXI' respecto al tratamiento control (tabla 1). Después de 48 días (desde 24/04/2018 hasta el 11/06/2018), se procedió a reducir la dosis de H_2O_2 a 50 ppm para evitar este problema durante el resto del ciclo de cultivo (figura 1A). En la campaña 2019-2020, se continuó manteniendo el tratamiento 'OXI' con 50 ppm de H_2O_2 hasta el 20/05/2019 (en total 343 días desde el 11/06/2018) y después de constatar la no existencia de obturaciones en goteros se subió a 100 ppm hasta el final del ciclo de cultivo (figura 1B). Durante esta segunda campaña, la cantidad de agua aplicada fue similar entre ambos tratamientos (tabla 1).

El contenido de O_2 disuelto en el agua de riego a la salida del gotero durante 2019 fue significativamente más elevado en el tratamiento 'OXI' (> 20 ppm) frente al tratamiento control (9-10 ppm) en el momento del muestreo (0 horas) (Figura 2). Ese mayor contenido de O_2 en el agua de riego en el tratamiento 'OXI' se mantuvo, al menos, hasta las 7 horas desde la

toma de muestra, para posteriormente, presentar valores similares al control (Figura 2). Esto permitiría mantener unos valores de O_2 en la disolución de suelo superiores al tratamiento control, que podría provocar una mejora en el desarrollo radicular del cultivo en el tratamiento 'OXI' (Bhattarai, et al., 2010). Las diferencias en los niveles de O_2 disuelto en el agua de riego no supusieron una clara mejora del estado hídrico de la planta. En 2018 el tratamiento 'OXI' presentó valores significativamente más bajos de Ψ_{tallo} que el control a primeros de junio, consecuencia de las obturaciones de goteros indicadas anteriormente que redujeron la cantidad de agua aplicada (figura 1A). Posteriormente, después ajustar la dosis de H_2O_2 a 50 ppm, disminuyeron considerablemente las obturaciones en goteros, y el tratamiento OXI mostró valores significativamente superiores al control a primeros de julio para la misma cantidad de agua aplicada (figura 1A). Aunque fue de manera puntual y las diferencias significativas no se mantuvieron en el tiempo, dichas diferencias se produjeron en un momento de máxima demanda climática. En 2019 no se encontraron diferencias en el Ψ_{tallo} entre los tratamientos estudiados a lo largo de la campaña (figura 1B).

Tabla 1. Valores de evapotranspiración, precipitación y agua aplicada para cada uno de los tratamientos (Control y 'OXI') durante las campañas de 2018-2019 y 2019-2020

	Campaña 2018-2019	Campaña 2019-2020
ET _o (mm)	1245	1140
Precipitación (mm)	245	594
<i>Agua Aplicada (mm)</i>		
Tratamiento Control	588	528
Tratamiento OXI	548	528

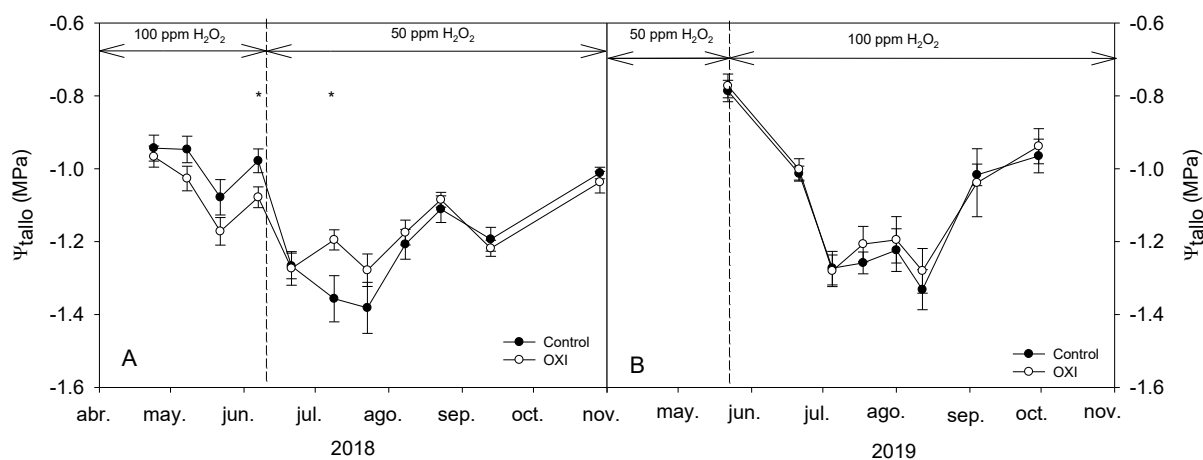


Figura 1. Evolución estacional de la aplicación de H_2O_2 y del potencial hídrico de tallo al mediodía (Ψ_{tallos}) de los tratamientos Control y 'OXI' en árboles de mandarina 'Ortanique' en 2018 (A) y 2019 (B).

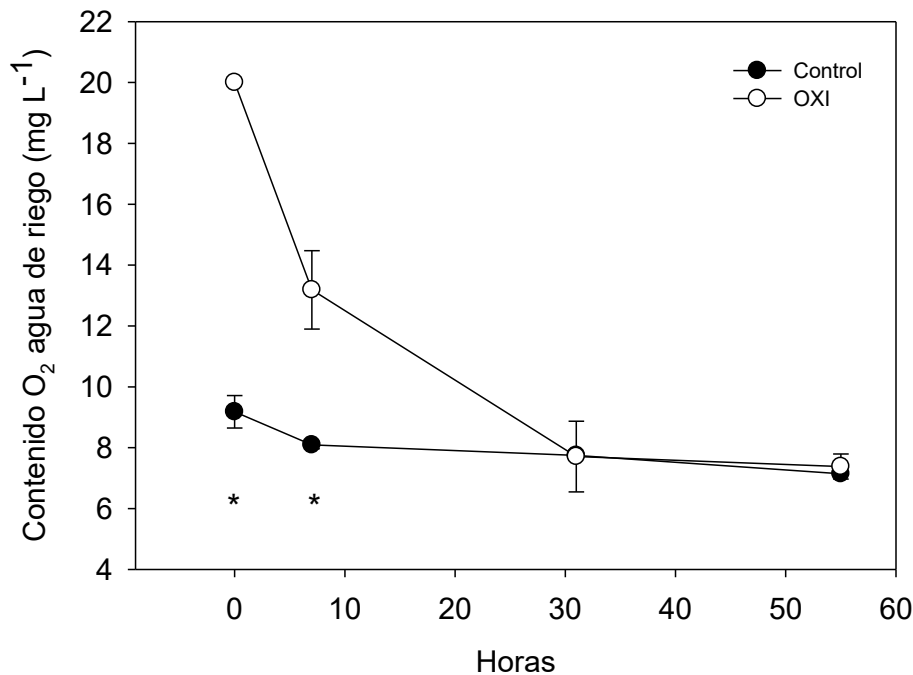


Figura 2. Evolución del contenido de O₂ del agua de riego tomado a la salida del gotero analizado a las 0, 7, 31 y 55 h de los tratamientos control y OXI en árboles de mandarina 'Ortanique' en el mes de junio de 2019.

La aplicación de H₂O₂ influyó positivamente sobre los parámetros de intercambio gaseoso. El tratamiento 'OXI' no aumentó los valores de A_{co2}, pero presentó valores significativamente superiores de g_s y E_{hoja} en el mes de septiembre de ambas campañas (figura 3). Dicho aumento, estuvo entorno al 29% en los valores de g_s y del 20% en E_{hoja}. Una respuesta similar se ha obtenido en cultivos hortícolas como el sorgo, y que podría estar relacionada con un mayor desarrollo radicular por la aplicación de H₂O₂ (Bhattarai et al., 2004). Sin embargo, pese a la mejora de los parámetros de intercambio gaseoso en el tratamiento 'OXI', no alteró el crecimiento vegetativo del cultivo. El experimento se inició en árboles con similar diámetro de tronco (tabla 2). La AGR no mostró diferencias significativas entre tratamientos en ambas campañas (tabla 2). Además, la poda realizada al finalizar la última campaña fue similar entre los tratamientos estudiados (tabla 2). Similar respuesta se ha obtenido en cultivos hortícolas bajo hidroponía, donde la aplicación de H₂O₂ no ha producido cambios significativos en la biometría de la planta (Acuña et al., 2006; Soto-Bravo, 2015).

Tabla nº 2. Diámetro del tronco al inicio del experimento, Tasa de crecimiento absoluto 2018-2019 (AGR₂₀₁₈₋₂₀₁₉) y 2019-2020 (AGR₂₀₁₉₋₂₀₂₀), Peso fresco de poda de (2019-2020) de los tratamientos control y OXI en árboles de mandarina 'Ortanique'.

	Diámetro tronco (cm)	AGR ₂₀₁₈₋₂₀₁₉ (mm)	AGR ₂₀₁₉₋₂₀₂₀ (mm)	Peso de poda (kg árbol ⁻¹)
Control	18,8	10,6	10,4	12,2
Oxi	20,0	8,0	11,1	14,6
Anova				
Signif.	ns	ns	ns	ns

ns = no significativo.

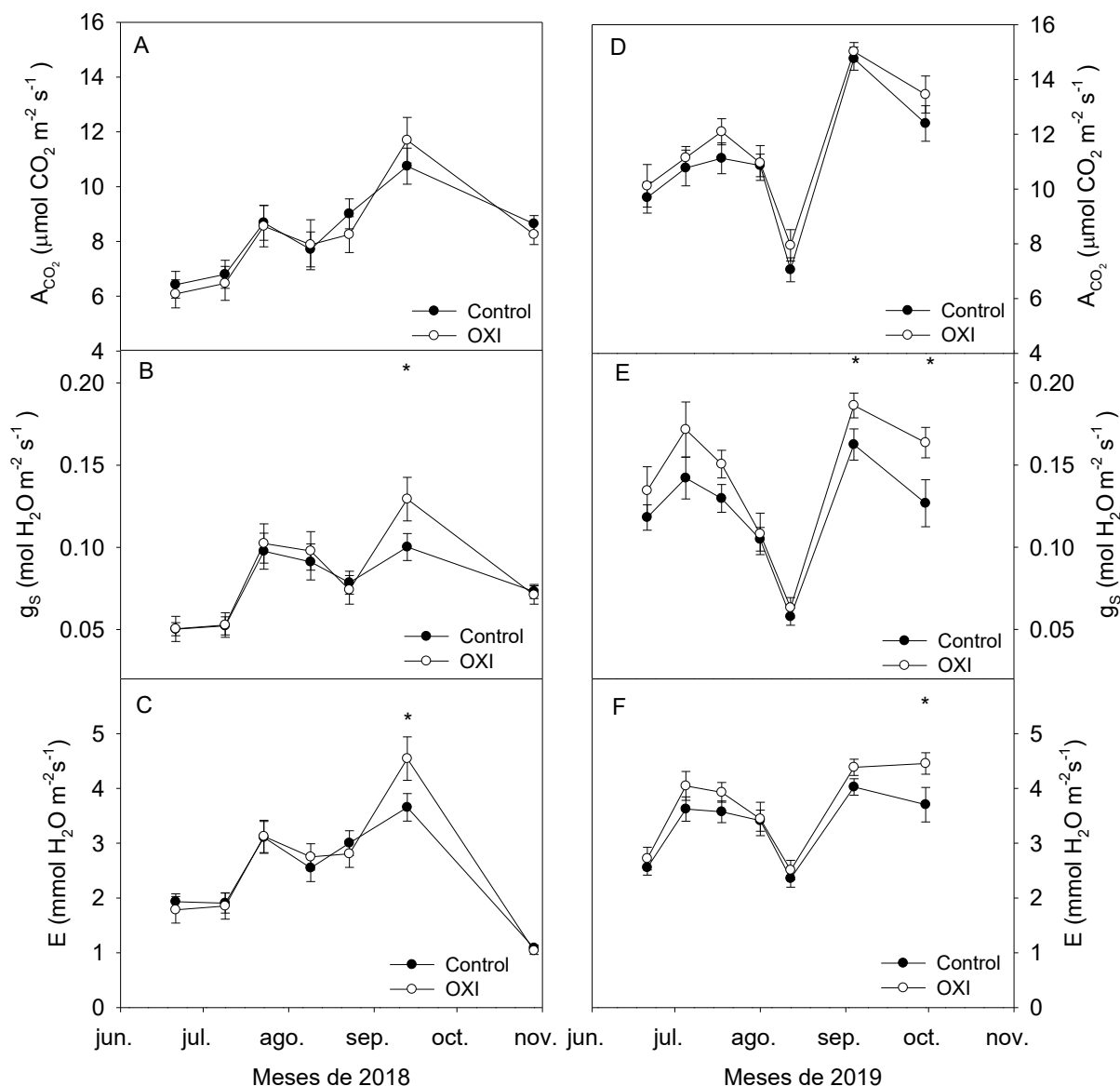


Figura 3. Evolución estacional de la fotosíntesis (A_{CO₂}), conductancia estomática (g_s) y de la tasa de transpiración (E_{Hoja}) de los tratamientos control y OXI en árboles de mandarina 'Ortanique' durante los años 2018 (A, B y C) y 2019 (D, E y F).

En relación con el estado nutricional del cultivo, en la primera campaña, el tratamiento 'OXI' no modificó la composición mineral en hoja (tabla 3). En cambio, en la segunda campaña, la aplicación de H₂O₂ favoreció la acumulación de elementos minerales en la hoja, principalmente N, K y Fe (tabla 3). El aumento de la temperatura durante los meses de verano puede limitar los niveles de O₂ de la solución de suelo (Bhattarai, et al., 2010) reduciendo la absorción de nutrientes en el cultivo, particularmente N y Fe (Morard et al., 2004), por lo que la aplicación de H₂O₂ podría evitar ese problema. De hecho, los árboles del tratamiento 'OXI' acumularon significativamente un 4% más en el contenido de N, un 26% en el de K y un 10% en el contenido de Fe (tabla 3). De acuerdo con las normas de producción integrada en cítricos de la Región de Murcia (Borm, 2012), los valores obtenidos de N en el tratamiento 'OXI' estarían próximos a valores altos, mientras que los del tratamiento control se encuentran dentro del intervalo de valores normales. Respecto al K, los valores son muy bajos para ambos tratamientos y el Fe se encontraría en el intervalo de valores normales. En relación con el N, esa mayor acumulación en el tratamiento 'OXI' sugiere una mayor eficiencia en el uso de ese fertilizante ya que se aplicó la misma cantidad de N en ambos tratamientos. Esto podría ser

interesante en aquellas zonas vulnerables por contaminación de nitratos, donde la aplicación de H_2O_2 podría favorecer una reducción en la aplicación de N.

Tabla 3. Contenido mineral en hoja de mandarina 'Ortanique' para cada uno de los tratamientos estudiados (control y OXI) en noviembre de 2018 y de 2019.

	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2018											
Control	2,61	0,15	0,33	4,49	0,62	0,18	79	16	35	34	271
Oxi	2,62	0,15	0,36	4,22	0,60	0,24	84	18	38	37	272
<i>Anova</i>											
Signif.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2019											
Control	2,77 b	0,13	0,35 b	4,24	0,52	0,13	65 b	23	23	19	275
Oxi	2,87 a	0,13	0,44 a	4,28	0,50	0,17	72 a	24	23	21	281
<i>Anova</i>											
Signif.	*	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns

* y 'ns' indican diferencias significativas a $P < 0.05$ y no significativas respectivamente.

Aunque la aplicación de H_2O_2 aumentó la g_s y la E_{hoja} en determinados momentos de ciclo de cultivo y mejoró la acumulación en hoja de determinados elementos minerales en la última campaña, no mejoró significativamente la respuesta productiva del cultivo ni la eficiencia en el uso del agua (EUA) (tabla 4). Destacar que, en la última campaña, se observó una tendencia a la mejora de dichos parámetros, donde la cosecha y la eficiencia en el uso del agua aumentaron en el tratamiento 'OXI' en un 20 %, pero sin diferencias significativas (tabla 4). Al igual que se ha observado anteriormente con la biometría del cultivo, la aplicación de H_2O_2 , puede llegar a no presentar una mejora de la productividad del cultivo. En pimiento y tomate bajo condiciones de hidroponía, la mejora de la oxigenación del agua no supuso una clara mejora del rendimiento del cultivo (Acuña et al., 2006; Soto-Bravo, 2015).

Tabla 4. Respuesta productiva de cada uno de los tratamientos estudiados (control y OXI) y eficiencia productiva en el uso del agua en mandarina 'Ortanique'.

2018-2019	nº frutos árbol⁻¹	Kg árbol⁻¹	Peso medio (g)	EUA (Kg m⁻³)
Control	416	77,9	197,9	11,0
Oxi	421	79,3	199,0	12,1
<i>Anova</i>				
Signif.	ns	ns	ns	ns
2019-2020				
Control	270	53,0	211,8	8,4
Oxi	336	64,6	198,2	10,2
<i>Anova</i>				
Signif.	ns	ns	ns	ns

ns = no significativo.

Por lo contrario, la mejora en la oxigenación del agua de riego alteró la calidad del fruto (tabla 5). En la primera campaña, el tratamiento 'OXI' modificó principalmente los parámetros físicos de calidad del fruto. Aumentó el espesor de corteza y mejoró la coloración del fruto, pero redujo el porcentaje de zumo respecto al tratamiento control. En la segunda campaña, donde se aumentó la dosis de H_2O_2 , la reducción significativa del porcentaje de zumo fue mayor, próxima al 11 %, consecuencia de un aumento del porcentaje de corteza por un valor similar (tabla 5). Esto es un factor negativo de calidad respecto al tratamiento control y puede

estar relacionado con la mayor acumulación de N en el tratamiento 'OXI'. Los mayores niveles de N en el tratamiento 'OXI' pueden implicar un mayor porcentaje de corteza y con ello una reducción del porcentaje de zumo (Legaz et al., 2000). Respecto a los parámetros químicos de calidad del fruto, en esta campaña se produjo un aumento de la acidez en un 16 % que redujo el índice de madurez (I.M.) en el tratamiento 'OXI' (tabla 5). Esto puede resultar interesante de cara a retrasar la cosecha, siendo de interés en variedades de recolección tardía, como puede ser en este caso la mandarina 'Ortanique'.

Tabla 5. Principales parámetros de calidad del fruto en arboles de mandarina 'Ortanique'.

2018-2019	Diámetro (mm)	IC _{ext}	Esp. corteza (mm)	% Zumo	% Pulpa	% Corteza	SST (°brix)	Acidez (g/L)	I.M.
Control	80,5	19,8 b	3,0 b	54,8 a	3,4	41,6 b	12,4	11,4	10,0
OXI	81,6	20,5 a	3,2 a	52,7 b	3,3	43,5 a	12,2	12,6	9,7
Anova									
Signf.	ns	*	*	*	ns	*	ns	ns	ns
2019-2020									
Control	82,0	20,1	3,3	48,5 a	2,8	47,7 b	11,1	12,7 b	8,1 a
OXI	80,8	19,6	3,1	43,3 b	2,7	53,0 a	10,9	14,7 a	7,4 b
Anova									
Signf.	ns	ns	ns	**	ns	**	ns	*	**

*, ** y 'ns' indican diferencias significativas a $P < 0.05$, $P < 0.01$ y no significativas respectivamente.

5- Conclusiones

La aplicación de la oxifertirrigación mejoró la respuesta fisiológica del cultivo, aumentando los valores de la g_s y la E_{hoja} , al final de la fase II desarrollo del fruto. Sin embargo, no se ha observado una respuesta clara a mejorar la productividad del cultivo y del agua aplicada. Se ha puesto de manifiesto que la aplicación de H_2O_2 favorece la acumulación de N en hoja, lo que permitiría reducir la dosis en el plan de abonado. Respecto a la calidad del fruto, pese a reducir el porcentaje de zumo, favorece un retraso en la maduración del fruto lo que resulta interesante en variedades de recolección tardía. El seguimiento del ensayo en años posteriores permitirá confirmar los resultados preliminares obtenidos.

6- Agradecimientos

Este trabajo ha sido cofinanciado por el Proyecto de Investigación FEDER 14-20-24 dentro del programa operativo de la Región de Murcia 2014-2020 cofinanciado en un 80% por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional y por el Subprograma Estatal de Incorporación Ramón y Cajal (RYC-2015-17726), en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación del Ministerio de Economía y Competitividad.

7- Bibliografía

- Acuña, R., Bonachela, S., y Magán, J. (2006). Respuesta de un cultivo de pimiento en sustrato de perlita a la mejora de la oxigenación del medio radicular. *Acta de Horticultura*, 46, 91-95.
- Barret-Lennard, E.G. (2003) The interaction between water logging and salinity in higher plants: causes, consequences and implications. *Plant and soil*, 253, 35-54
- Bartholomeus, R.P., Witte, J.P.M., van Bodegom, P.M., van Dam, J.C., Aerts, R. (2008). Critical soil conditions for oxygen stress to plant roots: substituting the Feddes-function by a process-based model. *Journal Hydrology*, 360, 147-165.

Bhattarai, S., Huber, S., and Midmore, D. (2004) Aerated subsurface irrigation water gives growth and yield benefits to zucchini, vegetable soybean and cotton in heavy clay soils. *Annals of Applied Biology* 144, 285-298.

Bhattarai, S.P., Midmore, D.J., and Su, N. (2010) Sustainable Irrigation to Balance Supply of Soil Water, Oxygen, Nutrients and Agro-Chemicals. E. Lichtfouse (ed.), *Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture Sustainable Agriculture Reviews* 5, DOI 10.1007/978-90-481-9513-8_9,

Bhattarai, S., Su, N and Midmore, D. (2005). Oxygenation unlocks yield potentials of crops in oxygen-limited soil environments. *Advances in Agronomy*. 88, 313-377.

Boletín Oficial de la Región de Murcia (BORM) núm. 100, (2012). Orden de 24 de abril de 2012, de la Consejería de Agricultura y Agua por la que se regulan las normas técnicas de producción integrada en el cultivo de cítricos. Consejería de Agricultura y Agua, pp. 18377-18402.

CARM, (2020). Comunidad Autónoma Región de Murcia. Portal estadístico de la Región de Murcia. <http://econet.carm.es/>. Acceso marzo 2020.

Carrasco, G., and Urrestarazu, M. (2010). Green chemistry in protected horticulture: The use of peroxyacetic acid as a sustainable strategy. *International of Journal of Molecular Sciences* 11, 1999-2009.

Huang, B.R., Johnson, J.W., Nesmith, D.S., Bridges, D.C. (1994) Root and shoot growth of wheat genotypes in response to hypoxia and subsequent resumption of aeration. *Crop Science* 34, 1538–1544

Kumar V, Butter T.S., Samanta, A., Singh, G., Kumar, M., Dhotra, B., Yadab N.K and Choudhary R.S. (2018) Soil compaction and their management in farming systems: A review. *International Journal of Chemical Studies* 6, 2302-2313

Labanauskas, C. F., Stolzy, L. H., Klotz, L. J. and DeWolfe, T. A. (1964) Adequate soil-oxygen supplies increase nutrient concentrations in citrus seedlings. *California Agriculture* 18 (10), 13-14.

Legaz, F., Bañuls, J., Primo-Millo, E. (2000). Influencia del abonado en la calidad del fruto. *Levante Agrícola*. 350, 12-17.

Marfa, O., y Gurí, S (1999). Física de sustratos y oxigenación del medio radicular. En: cultivo sin suelo II: Curso superior de especialización. Coord. por M. Fernández; Cuadrado, I. IFAPA y Caja Rural de Almería, Almería, ESP. p. 93-106.

Marfa, O., Cáceres, R and Gurí, S. (2005) Oxyfertiligation: a new technique for soilless culture under Mediterranean conditions. *Acta Horticulturae*. 697, 65-72.

Meek, B.D., Ehlig, C.F., Stolzy, L.H., Graham, L.E. (1983) Furrow and trickle irrigation: Effects on soil oxygen and ethylene and tomato yield. *Soil Science Society of American Journal*, 47, 631-635

Morales-Olmedo, M., Ortiz, M., Selles, G. (2015). Effects of transient soil waterlogging and its importance for rootstock selection. *Chilean Journal of. Agricultural. Research* 75, 45-56

Morard, P., Lacoste, L., Silvestre, J. (2004). Effect of oxygen deficiency on mineral nutrition of excised tomato roots. *Journal of Plant Nutrition* 27, 651-661

Navarro, J.M. y Pérez Pérez, J.M. (2019). Oxifertirrigación química en el cultivo de plantas de pimiento en condiciones salinas. *Agrícola Vergel*, 416, 11-17.

Pérez-Pérez, J.G., Robles, J.M., Botía, P. (2014). Effects of deficit irrigation in different fruit growth stages on 'Star Ruby' grapefruit trees in semi-arid conditions. *Agricultural Water Management*, 133, 44-54

Seckler, D. (1996). The new era of water resources management: from "dry" to "wet" water savings. Colombo, Sri Lanka: International Irrigation Management Institute (IIMI). iii, 17p.

Soto-Bravo, F. (2015). Oxifertirrigación química mediante riego en tomate hidropónico cultivado en invernadero. *Agronomía mesoamericana*, 26, 277-289

Urrestarazu, M., and Mazuela, P. (2005). Effect of slow-release oxygen supply by fertigation on horticultural crops under soilless culture. *Science Horticulturae*. 106, 484-490.

OZONIZACIÓN DE AGUAS REGENERADAS EN POMELO 'STAR RUBY'. COMPORTAMIENTO DE LA INSTALACIÓN Y RESPUESTA AGRONÓMICA Y FISIOLÓGICA DEL CULTIVO

Botía Ordaz, P. (1) (P), Hernandez Ballester, FM. (1), Robles García, JM (1), Olivares Quilez, L. (1), Palazón López, J.A.(1), Arques Pardo, E.M. (1), Martínez Izquierdo, A.V. (1), Romero Azorín, P.(1), Berríos,P.(2), Gil Fernández, I.(2), Pérez-Pastor,A.(2), Navarro Acosta, JM. (1)

¹Equipo de Riego y Fisiología del Estrés (IMIDA), C/Mayor s/n, La Alberca (Murcia). E-mail: pablo.botia@carm.es

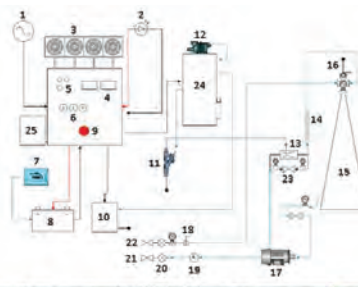
²Departamento de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena (Murcia) E-mail: alex.perez-pastor@edu.upct.es

Resumen

Durante la campaña 2019-2020, se llevó a cabo un experimento para evaluar el comportamiento de una instalación de ozonización a pie de parcela cuando se utilizan aguas de diferente naturaleza (Regenerada y Trasvase) y obtener resultados preliminares a nivel agronómico y fisiológico de un cultivo de pomelo en estas condiciones. La aplicación de ozono, se realizó entre los meses de junio y agosto mediante una instalación situada a pie de parcela, utilizando un generador de O₃ de 20 gr/hora. Durante este periodo, se aplicó el O₃ durante todo el tiempo de riego, menos en la fase de abonado y post-abonado, para evitar posibles efectos indeseables sobre la fertilización. Durante el resto del año, los árboles fueron fertirrigados según criterio del agricultor, utilizando el agua disponible (nunca regenerada). Se evaluaron en continuo los valores redox durante todos los eventos de riego, a la entrada y la salida de la instalación, el volumen de agua aplicado, así como algunos parámetros de crecimiento vegetativo y del fruto y estado hídrico del cultivo. Los parámetros de producción y calidad, así como el estado nutricional del cultivo de la campaña, también fueron evaluados. Nuestros resultados denotan que las instalaciones utilizadas para la aplicación de un tratamiento de ozonización a pie de parcela, cuando se utilizan aguas regeneradas, pueden presentar dificultades derivadas de la naturaleza de estas aguas (elevados niveles de materia orgánica y otras sustancias altamente oxidables), lo que hace necesario un estudio más exhaustivo de estos sistemas para poder llevar a cabo un tratamiento eficaz de O₃ en estas condiciones. Dimensionar adecuadamente la generación de O₃ para cada instalación en función de la naturaleza de las aguas utilizadas e implementar sistemas que garanticen la presurización de la instalación y procuren la dosificación adecuada de medio ácido, pueden ser algunas de las recomendaciones a seguir para este tipo de instalaciones. Por otra parte, la respuesta agronómica y fisiológica, ante estos tratamientos requiere igualmente de un mayor y más largo estudio, para poder alcanzar resultados confiables.

Material y métodos

Experimento en parcela comercial de pomelos adultos (Star Ruby x *Citrus macrophylla* Wester), en la zona de Campotejar (Murcia), próximo a EDAR de Molina de Segura. Se aplican tratamientos de ozonización entre Junio y agosto, utilizando aguas procedentes del Trasvase Tajo-Segura (tratamiento T, CE =1,16 dS/m) y aguas regeneradas (tratamiento R, CE=3,16 dS/m) procedentes de la EDAR de Molina de Segura, aplicando para ambos tipos de aguas, un tratamiento de O₃, TO₃ y RO₃. Con un diseño bifactorial de bloques completos al azar (con los factores principales Tipo de agua y Ozonización). Durante el resto de la campaña la fertirrigación es procurada por el agricultor. Se utiliza una instalación de ozono a pie de parcela, con un generador de O₃ (SMAQUA OZ20 de 20 gr/hora). La aplicación de O₃ (137 horas entre junio y agosto) se realizó fuera del periodo de abonado durante los riegos, tratando de mantener un potencial redox a la salida entre 600 y 650 mV a pH 6. Se evaluó durante el periodo de aplicación de los tratamientos: el funcionamiento de la instalación y parámetros de crecimiento vegetativo y del fruto y estado hídrico del cultivo. También se evalúan la cosecha y calidad final así como el estado nutricional del cultivo.



Legenda: 1. Red eléctrica; 2. Paneles solares; 3. Ventiladores; 4. Display redox entrada / salida; 5. Pilotos luminosos de aviso; 6. Selectores Automático / Manual de generador de ozono; 7. Agua para batería; 8. Batería; 9. Botón emergencia; 10. Secadora; 11. Trampa de agua; 12. Compresor de aire; 13. Venturi; 14. Columna transparente agua recirculada con ozono; 15. Columna dilución ozono 500L; 16. Purga ozono; 17. Bomba agua recirculación; 18. Inyección de pH desde dosificadora con depósito 100L; 19. Sonda pH salida; 20. Dosim SPH-1-S 6; 21. Sondas Redox, Dosim SRH-1-PT-6m; 22. Ullave salida de agua; 23. Ullave entrada de agua; 24. Bypass; 25. Cuadro generador de ozono; 26. Aire acondicionado, refrigeración del inversor



Resultados y discusión

Funcionamiento de la instalación de ozonización:

Los diferentes tipos de agua, presentaron valores medios de potencial redox de 285 mV y 360 mV, en Trasvase y regenerada, reflejando la distinta naturaleza de las mismas (valores más elevados de *E. coli*, Na, B, S, Ca y Mg en las aguas regeneradas)

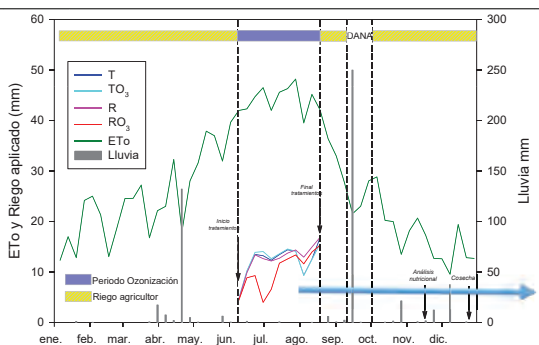
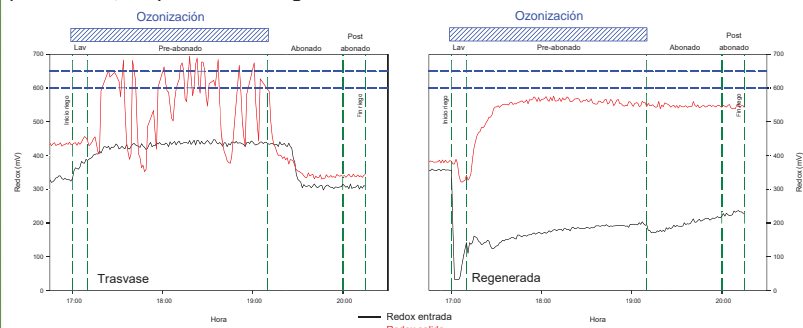
Ambos tipos de aguas, alcanzaron niveles de potencial redox significativamente superiores a la salida de la instalación, tras la ozonización.



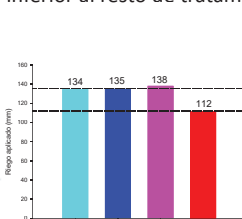
Potencial redox (mV)			
Tipo de agua	Entrada	Salida	ANOVA
Regenerada	285	477	***
Trasvase	360	589	***
ANOVA	**	***	

*** y ns indican diferencias significativas a $P < 0,01$; $P < 0,001$ y no significativas respectivamente, según el test de Rango Múltiple de Duncan.

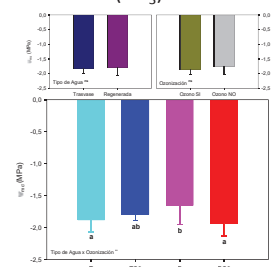
Sin embargo, mientras con agua del Trasvase el sistema fue capaz de mantener el nivel de potencial redox a la salida dentro de los umbrales marcados en el sistema (589 mV), con agua regenerada, el sistema no llegó a alcanzarlos (477 mV), lo que pudo ser debido a la carga orgánica presente en este tipo de aguas, entre otros parámetros, muy diferente al agua del Trasvase.



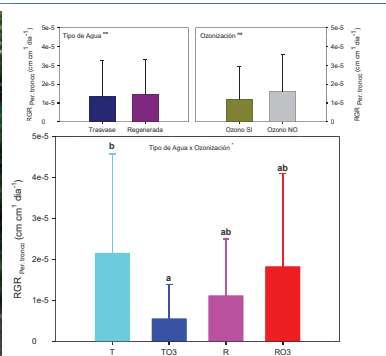
Además, durante los periodos de ozonización con agua regenerada, la instalación mantuvo un régimen de presiones inferior que con agua del Trasvase, afectando de manera significativa al caudal de descarga de los goteros. Esta situación, produjo una reducción del agua aplicada en este tratamiento (RO_3) de un 17 % inferior al resto de tratamientos.



Esto explicaría, los menores valores alcanzados de potencial hídrico de tallo a mediodía en este tratamiento al final del periodo, -1,94 MPa, que fueron significativamente inferiores al alcanzado por el tratamiento de agua regenerada sin O_3 , -1,65 MPa.

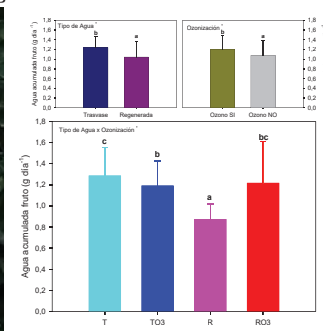
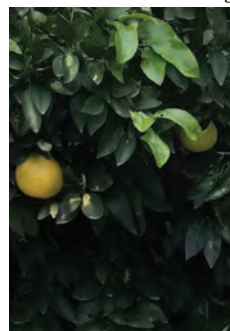


Efectos fisiológicos durante el periodo de ozonización:



Disminución de la tasa de crecimiento del perímetro del **tronco**, en el tratamiento TO_3 respecto a este mismo tipo de aguas no ozonizadas (T), lo que no fue observado para aguas regeneradas (R).

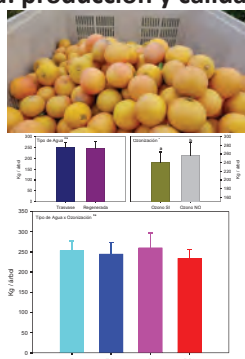
El crecimiento del diámetro del **fruto**, no experimentó diferencias entre tratamientos, sin embargo, si se apreció una disminución significativa del incremento del peso fresco de los frutos del tratamiento de agua regenerada sin ozonizar (R), respecto al resto de tratamientos, que estuvo asociado a una menor acumulación de agua en el fruto en este tratamiento.



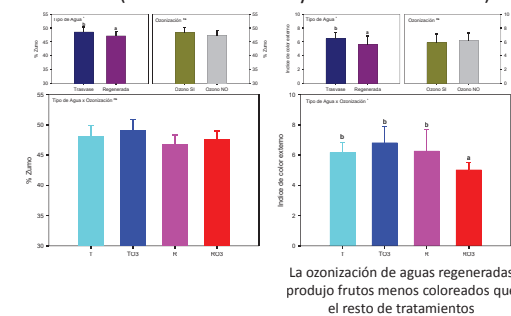
En general, las aguas regeneradas durante este periodo, produjeron una disminución del peso fresco del fruto, asociada a una menor cantidad de agua acumulada en el tratamiento no ozonizado, por lo que la ozonización en este caso parece aportar una ventaja respecto a la acumulación de agua en el fruto en estas condiciones.

Efectos al final de la campaña: producción y calidad

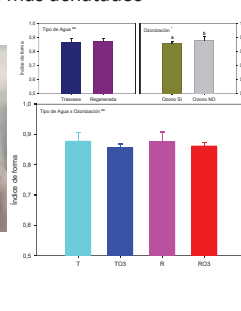
La ozonización, para ambos tipos de aguas, produjo una ligera disminución (7%) de la **producción** (kg/árbol). No se apreciaron diferencias significativas respecto al Tipo de agua. El tratamiento RO_3 , que presentó los mayores niveles de estrés durante el periodo de ozonización (-1,94 MPa), produjo también valores más bajos de producción.



Las aguas regeneradas, produjeron frutos de **calidad** inferior (menos % de zumo y coloración externa)



La ozonización, produjo frutos más achatados



Conclusiones, recomendaciones y agradecimientos

Instalaciones para la aplicación de O_3 con aguas regeneradas, pueden presentar dificultades derivadas de la naturaleza de estas aguas (elevados niveles de materia orgánica y otras sustancias altamente oxidables). Para poder llevar a cabo un tratamiento eficaz de O_3 en estas condiciones se recomienda dimensionar adecuadamente la generación de O_3 según la naturaleza del agua utilizada, implementar sistemas de presurización adecuados y garantizar la dosificación de medio ácido. La respuesta agronómica y fisiológica, ante estos tratamientos requiere de un mayor y más largo estudio, para poder alcanzar resultados confiables.

El trabajo ha sido financiado por el **proyecto RIS3MUR REUSAGUA**, financiado por la Consejería de Empresa, Industria y Portavocía de la Región de Murcia, en el marco del Programa Operativo **FEDER 2014-2020**.

A-31-2020

OZONIZACIÓN DE AGUAS REGENERADAS EN POMELO 'STAR RUBY'. COMPORTAMIENTO DE LA INSTALACIÓN Y RESPUESTA AGRONÓMICA Y FISIOLÓGICA DEL CULTIVO

Botía Ordaz, P. (1) (P), Hernandez Ballester, FM. (1), Robles García, JM (1), Olivares Quilez, L. (1), Palazón López, J.A.(1), Arques Pardo, E.M. (1), Martínez Izquierdo, A.V. (1), Romero Azorín, P.(1), Berríos,P.(2), Gil Fernández, I.(2), Pérez-Pastor,A.(2), Navarro Acosta, JM. (1)

¹ Equipo de Riego y Fisiología del Estrés (IMIDA), C/Mayor s/n, La Alberca (Murcia). E-mail: pablo.botia@carm.es

² Departamento de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena (Murcia) E-mail: alex.perez-pastor@edu.upct.es

Resumen

Durante la campaña 2019-2020, se llevó a cabo un experimento para evaluar el comportamiento de una instalación de ozonización a pie de parcela cuando se utilizan aguas de diferente naturaleza (Regenerada y Trasvase) y obtener resultados preliminares a nivel agronómico y fisiológico de un cultivo de pomelo en estas condiciones. El ensayo se llevó a cabo, en una finca experimental en Campotejar (Murcia), sobre la variedad 'Star Ruby', empleando un diseño bifactorial (Tipo de agua y Ozonización), con bloques completos al azar y 6 repeticiones por combinación. La aplicación de ozono, se realizó entre los meses de junio y agosto mediante una instalación creada exprofeso, y situada a pie de parcela, utilizando un generador de O₃ de 20 gr/hora, procurando mantener una dosis constante del mismo (entre 600 y 650 mV en valor redox a pH 6 a la salida de la instalación). En todos los riegos, durante este periodo, se aplicó el O₃ durante todo el tiempo de mismo, menos en la fase de abonado y post-abonado, para evitar posibles efectos indeseables sobre la fertilización. Durante el resto del año, los árboles fueron fertirrigados según criterio del agricultor, utilizando el agua disponible (nunca regenerada). Durante el periodo de estudio, se evaluaron en continuo los valores redox durante todos los eventos de riego, a la entrada y la salida de la instalación, el volumen de agua aplicado, así como algunos parámetros de crecimiento vegetativo y del fruto y estado hídrico del cultivo. Los parámetros de producción y calidad, así como el estado nutricional del cultivo de la campaña, también fueron evaluados. Nuestros resultados denotan que las instalaciones utilizadas para la aplicación de un tratamiento de ozonización a pie de parcela, cuando se utilizan aguas regeneradas, pueden presentar dificultades derivadas de la naturaleza de estas aguas (elevados niveles de materia orgánica y otras sustancias altamente oxidables), lo que hace necesario un estudio más exhaustivo de estos sistemas para poder llevar a cabo un tratamiento eficaz de O₃ en estas condiciones. Dimensionar adecuadamente la generación de O₃ para cada instalación en función de la naturaleza de las aguas utilizadas e implementar sistemas que garanticen la presurización de la instalación y procuren la dosificación adecuada de medio ácido, pueden ser algunas de las recomendaciones a seguir para este tipo de instalaciones. Por otra parte, la respuesta agronómica y fisiológica, ante estos tratamientos requiere igualmente de un mayor y más largo estudio, para poder alcanzar resultados confiables, dado que en el presente estudio solo se evaluaron los efectos de la aplicación de estos tratamientos durante una etapa muy concreta del desarrollo del fruto.

1) Introducción

La falta de disponibilidad de agua en regiones áridas y semiáridas, como la Región de Murcia, hace necesaria la utilización de todos los recursos hídricos disponibles para satisfacer las necesidades de los cultivos. En la Región de Murcia las aguas regeneradas provenientes de las depuradoras apenas suponen 100 Hm³ y se utilizan prácticamente en su totalidad en el ámbito agrícola. Sin embargo, aunque esta cantidad, apenas suponen una mínima parte de la cantidad necesaria para completar las necesidades hídricas de los cultivos en esta región, se posiciona como un recurso importante y nada desdeñable, máxime en el momento actual, en el que las fuentes convencionales tradicionales están seriamente mermadas en su cuantía. Por lo que esta práctica debe ser incluida dentro de la gestión integral del agua y asumida dentro de la estructura de las instituciones del sector hídrico (Seguí, 2004).

Sin embargo, la utilización de aguas regeneradas en agricultura plantea ciertos problemas derivados de la naturaleza de las mismas como elevada salinidad, presencia de niveles de microorganismos y compuestos potencialmente contaminantes, perjudiciales o tóxicos para algunos cultivos (Poysa et al., 1987, Resh, 1997, Assouline y Narkis, 2013) que hacen que el agricultor, muestre ciertas reticencias a la hora de su utilización. Por si fuera poco, la reciente normativa en este ámbito (RD 1620/2007), puede restringir su uso actual, si no se toman medidas adicionales a las adoptadas hasta ahora.

El ozono (O₃), es uno de los compuestos más oxidantes que existe en la naturaleza. Su poder eficaz de desinfección ha sido demostrado profusamente en numerosos ámbitos, incluido el agrícola, donde ha sido aplicado sobre todo en el sector hortícola, con resultados satisfactorios para producir una desinfección de los cultivos y aumentar el rendimiento de los mismos (Martínez et al., 2013; Segura et al., 2003). Incluso algunos estudios apuntan su idoneidad y efectividad sobre los llamados contaminantes emergentes (Kim et al., 2009; Gerrity y Snyder 2011). Su carácter efímero, hace que deba producirse *in situ*, para poder utilizarlo en el momento que se precise. En su creación, se deriva además, la producción de oxígeno, el cual podría ser utilizado como una ventaja adicional para los cultivos (Abuarab et al., 2013; Bhattarai et al., 2004; Bhattarai, 2005; Letey, 1961).

2) Objetivos

El principal objetivo de este estudio es evaluar el comportamiento de una instalación de ozonización a pie de parcela cuando se utilizan aguas de diferente naturaleza, de buena calidad, procedente del Trasvase Tajo-Segura (Trasvase) y procedente de una estación depuradora (Regenerada), así como de obtener resultados preliminares a nivel agronómico y fisiológico del cultivo de pomelo de la variedad 'Star Ruby', regado con aguas de esta naturaleza que han sido ozonizadas.

3) Materiales y Métodos

El experimento se lleva a cabo en una parcela comercial de pomelos adultos de la variedad 'Star Ruby' sobre el portainjerto *Citrus macrophylla* Wester, situada en la zona de Campotejar (Murcia), muy cerca de la EDAR de Molina de Segura (Figura 1).



Figura 1. Instalación de ozonización a pie de parcela. Localización y detalle de la instalación.

El estudio se realizó durante el periodo de máxima demanda evaporativa, (junio-agosto), coincidente con la fase II de crecimiento del fruto, en la que se aplicó un riego diferencial utilizando aguas de distinta naturaleza (Tabla 1), procedentes del Trasvase Tajo-Segura (tratamiento T, $CE = 1,16 \text{ dS/m}$) y aguas regeneradas (tratamiento R, $CE = 3,16 \text{ dS/m}$) procedentes de la EDAR de Molina de Segura próxima a la parcela experimental, aplicando a su vez para ambos tipos de aguas, un tratamiento de O_3 , (TO_3 y RO_3 respectivamente). Se realizó un diseño bifactorial de bloques completos al azar (con los factores principales Tipo de agua y Ozonización). La programación del riego durante este periodo se realizó en base a la demanda evaporativa, controlando la cantidad de agua finalmente aplicada mediante contadores volumétricos. El plan de riego y abonado durante el resto de la campaña fue procurado por el agricultor según las prácticas habituales de la zona, utilizando el agua en cada momento disponible (normalmente de Trasvase, o mezcla con subterránea, pero nunca de origen regenerada).

La aplicación de ozono se realizó mediante una instalación creada exprofeso, y situada a pie de parcela, utilizando un generador de O_3 modelo SMAQUA OZ20 de hasta 20 gr/hora de generación de O_3 , procurando mantener una dosis constante del mismo durante todo el tiempo de ozonización en cada evento de riego (entre 600 y 650 mV a $\text{pH } 6$ en valor redox a la salida de la instalación). Con el fin de minimizar el efecto sobre la fertilización aplicada, la ozonización se dejó de aplicar en el periodo de abonado y post-abonado de cada riego, que se produjo siempre durante 50 minutos y 15 minutos respectivamente, dejando aproximadamente entre 120 y 135 minutos de riego con tratamiento de O_3 , dependiendo de la demanda evaporativa.

Para evaluar el comportamiento de la instalación de ozonización, se monitorizaron en continuo el potencial redox a la entrada y salida de la misma (sonda redox SEKO Mod SRH-1). Para evaluar el comportamiento agronómico y fisiológico del cultivo, se realizaron durante el periodo de estudio, medidas periódicas de crecimiento de tronco y fruto, a partir de las cuales se obtuvieron las correspondientes tasas de crecimiento relativo y absoluto (RGR_{tronco} y AGR_{fruto} (Tattini 1995). También se determinaron los incrementos de peso fresco, seco y contenido de agua del fruto, así como el estado hídrico del cultivo (potencial hídrico de tallo a mediodía, Ψ_{tallo} , mediante cámara de presión, Schölander et al., 1965) y el estado nutricional del cultivo, a partir de un muestreo realizado en el mes de noviembre. Los análisis de Na, K,

Cu y B se han realizado mediante ICP (Varian MPX Vista Radial), el Cl⁻ mediante cromatografía iónica (Dionex ICS 3000), el N total mediante un analizador elemental LECO FP-528. Los parámetros de producción (kilogramos por árbol, número de frutos y peso medio de fruto) y calidad al final (% de zumo, pulpa y corteza, sólidos solubles totales, acidez total, e índices de madurez, forma y color externo) de la campaña, que tuvo lugar a primeros de enero, también fueron evaluados, tomando en el momento de la cosecha, nueve frutos por árbol muestreado (en total 6 repeticiones por combinación Tipo de agua x Ozonización). El análisis estadístico de los datos se realizó mediante el análisis de la varianza (ANOVA) con el paquete STATGRAPHICS 5.1 plus y la separación de medias se realizó mediante el test de rango múltiple de Duncan.

Tabla 1. Análisis de las aguas de diferente naturaleza (Regenerada y Trásvase) utilizadas durante el periodo de estudio.

Parámetro	Tipo de agua	
	Trásvase	Regenerada
C.E (dS/m)	1,16	3,16
pH	8,14	7,92
SS (mg/L)	9,38	0,92
Turbidez (NTU)	1,02	0,32
<i>E. coli</i> (UFC/100 mL)	18	38
Al (mg/L)	0,11	0,05
B (mg/L)	0,04	0,65
Ca (mg/L)	79,32	139,1
Fe (mg/L)	0,05	0,06
K (mg/L)	3,51	36,3
Li (mg/L)	0,01	0,11
Mg (mg/L)	29,08	76,53
Mn (mg/L)	0,21	0,49
Na (mg/L)	36,46	471,7
Ni (mg/L)	<0,01	0,01
P (mg/L)	<0,1	3,36
Rb (mg/L)	<0,01	0,02
Si (mg/L)	2,62	4,89
S (mg/L)	73,11	220,8
Sr (mg/L)	1,33	2,56
Tl (mg/L)	<0,01	0,01
As, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, La, Mo, Pb, Sb, Se, Ti, V, Zn (mg/L)	<0,01	<0,01

4) Resultados y Discusión

Durante el periodo de estudio (junio-agosto), se aplicaron para cada tratamiento: 134,44 mm y 134,94 mm de agua en Trásvase (T) y Trásvase con ozono (TO₃) respectivamente y 138,01 mm y 111,51 mm en los tratamientos con agua regenerada sin (R) y con ozono (RO₃) respectivamente, con un total de 137 horas de generación de O₃, en los tratamientos ozonizados.

La diferente naturaleza de las aguas utilizadas, destacando valores significativamente más elevados de *E. coli*, Na, B, S, Ca y Mg en las aguas regeneradas respecto a las del Trasvase (Tabla 1), se reflejó en los valores redox de las mismas, durante los eventos de riego en los tratamientos sin O₃, para cada tipo de agua (285 mV y 360 mV, en agua regenerada y agua del Trasvase respectivamente (Tabla 2).

Los resultados del funcionamiento de la instalación de ozonización, a partir de la evaluación de los niveles redox alcanzados durante los eventos de riego, mostraron comportamientos muy diferentes, según el tipo de agua empleada. El sistema, fue capaz de producir la ozonización para ambos tipos de aguas, alcanzando niveles de potencial redox significativamente superiores a la salida de la instalación, después de la ozonización, para ambos tipos de agua (Tabla 2). Sin embargo, mientras con agua del Trasvase el sistema fue capaz de mantener el nivel de potencial redox a la salida dentro de los umbrales marcados en el sistema (589 mV), cuando se utilizó agua regenerada, el sistema no llegó a alcanzarlos (477 mV) (Tabla 2 y Figura 2), lo que pudo ser debido a la carga orgánica presente en este tipo de aguas, entre otros parámetros, muy diferente al agua del Trasvase (Tabla 1).

Tabla 2. Valores medios de potencial redox a la entrada (sin O₃) y salida (con O₃) de la instalación durante el periodo de aplicación de O₃ en los eventos de riego durante el periodo de estudio con aguas de diferente naturaleza.

Tipo de agua	Potencial redox (mV)		ANOVA
	Entrada	Salida	
Regenerada	285	477	***
Trasvase	360	589	***
ANOVA	**	***	

, * y ns indican diferencias significativas a $P < 0,01$; $P < 0,001$ y no significativas respectivamente, según el test de Rango Múltiple de Duncan.

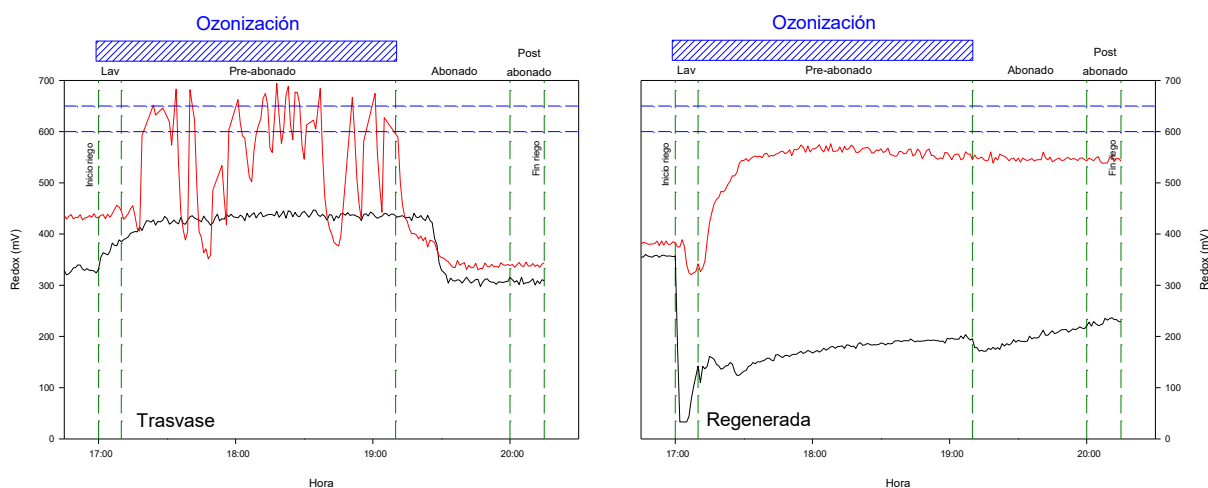


Figura 2. Evolución de los valores de potencial redox durante los eventos de riego en tratamientos de ozonización con agua de Trasvase y regenerada, en días representativos para cada tipo de agua. Color de líneas: rojo, redox salida; negro, redox entrada; azul umbrales sistema redox; verde se delimitan los eventos durante el riego.

Además, durante los periodos de ozonización con agua regenerada, la instalación mantuvo un régimen de presiones inferior que con agua del Trasvase, afectando de manera significativa al caudal de descarga de los goteros. Esta situación, produjo una reducción del agua aplicada en este tratamiento (RO_3) de un 17 % inferior al resto de tratamientos. Esto explicaría, los menores valores alcanzados de potencial hídrico de tallo a mediodía en este tratamiento al final del periodo, -1,94 MPa, que fueron significativamente inferiores al alcanzado por el tratamiento de agua regenerada sin O_3 , -1,65 MPa (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros de crecimiento vegetativo y del fruto, y estado hídrico del cultivo durante el periodo de estudio (entre los meses de julio y agosto). Estado hídrico al final del periodo.

Factores	PARÁMETROS CRECIMIENTO				ESTADO
	Tronco	Fruto			HIDRICO
	RGR _{Tronco} cm cm ⁻¹ día ⁻¹	AGR _{Diámetro} mm día ⁻¹	AGR _{Peso fresco} g día ⁻¹	Agua acumulada g día ⁻¹	Ψ_{tallo} MPa
Tipo de Agua					
Trasvase	1,35E-05	0,297	1,46 b	1,24 b	-1,84
Regenerada	1,46E-05	0,280	1,22 a	1,04 a	-1,79
Ozonización					
Ozono SI	1,18E-05	0,279	1,41	1,20 b	-1,86
Ozono NO	1,63E-05	0,298	1,27	1,08 a	-1,77
Tipo agua x Ozonización					
T	2,15E-05 b	0,283	1,52 b	1,29 c	-1,88 a
TO ₃	5,45E-06 a	0,312	1,40 b	1,19 b	-1,79 ab
R	1,11E-05 ab	0,313	1,02 a	0,87 a	-1,65 b
RO ₃	1,82E-05 ab	0,247	1,42 b	1,22 bc	-1,94 a
ANOVA					
Tipo de Agua	ns	ns	*	*	ns
Ozonización	ns	ns	ns	*	ns
Tipo agua x Ozonización	*	ns	*	*	**

*, ** y ns indican diferencias significativas a $P < 0,05$; $P < 0,01$ y no significativas respectivamente, según el test de Rango Múltiple de Duncan. Para cada columna, valores con la misma letra, no son significativamente diferentes al 95%.

Por otra parte, y aunque el periodo en el que se aplicó el O_3 en este estudio para este cultivo se caracteriza por una parada del crecimiento vegetativo en beneficio del crecimiento del fruto, se observó, entre julio y agosto, una disminución significativa de la tasa de crecimiento del perímetro del tronco (RGR_{Tronco}), en el tratamiento con agua de buena calidad ozonizada (TO_3) respecto a este mismo tipo de aguas no ozonizadas (T) (Tabla 3), lo que no fue observado para aguas regeneradas (R). En este mismo periodo, el crecimiento del diámetro del fruto (AGR_{Fruto}), no experimentó diferencias entre tratamientos, sin embargo, si se apreció una disminución significativa del incremento del peso fresco ($AGR_{\text{Peso fresco}}$) de los frutos del tratamiento de agua regenerada sin ozonizar (R), respecto al resto de tratamientos, que estuvo asociado a una menor acumulación de agua en el fruto en este tratamiento (Tabla 3). En general, las aguas regeneradas durante este periodo, produjeron una disminución del peso fresco del fruto, asociada a una menor cantidad de agua acumulada en el tratamiento no ozonizado, por lo que la ozonización en este caso parece aportar una ventaja respecto a la acumulación de agua en el fruto en estas condiciones.

Un estado hídrico más favorable durante el periodo de estudio, en el tratamiento R que el resto de tratamientos, pudo favorecer que el crecimiento vegetativo no se viera afectado en esta etapa, en detrimento de la acumulación de agua en el fruto.

La aplicación del tratamiento de ozonización, para ambos tipos de aguas, durante uno de los periodos más sensibles en el cultivo de pomelo (Fase II de crecimiento del fruto), produjo una ligera disminución de los parámetros productivos, si bien dicha reducción, (de apenas un 7%), solo fue significativa para el peso total por árbol (Tabla 4). No se apreciaron diferencias significativas respecto al Tipo de agua, resultados similares a los reportados en estas condiciones en este mismo cultivo por Pedrero et al. (2015), aunque otros autores, si han destacado después de cinco años de riego con aguas regeneradas en pomelo, una disminución en los parámetros fisiológicos y en la producción (Romero-Trigueros et al., 2014). El tratamiento RO₃, que presentó los mayores niveles de estrés durante esta fase (-1,94 MPa), también fue el que obtuvo los valores más bajos de producción, aunque no de manera estadísticamente significativa. Con aguas de buena calidad, en pomelo 'Star Ruby', una reducción de la cosecha, cuando se aplicó un estrés hídrico moderado, durante esta fase de crecimiento de fruto, ha sido reportado por Perez-Pérez et al. (2014).

Tabla 4. Parámetros productivos durante la campaña 2019-2020

Factor	Nº Frutos	Peso (kg/árbol)	P medio fruto (g)
Tipo de Agua			
Trasvase	810	249,0	307,1
Regenerada	796	247,1	312,0
Ozonización			
Ozono SI	793	239,3 a	303,7
Ozono NO	814	256,7 b	315,4
Tipo agua x Ozonización			
T	827	253,4	306,5
TO ₃	794	244,6	307,7
R	801	260,1	324,3
RO ₃	792	234,0	299,7
ANOVA			
Tipo de Agua	ns	ns	ns
Ozonización	ns	*	ns
Tipo agua x Ozonización	ns	ns	ns

* y ns indican diferencias significativas a $P < 0,05$ y no significativas respectivamente, según el test de Rango Múltiple de Duncan. Para cada columna, valores con la misma letra, no son significativamente diferentes al 95%.

Por otra parte, el Tipo de agua afectó principalmente a la calidad de los frutos y a ciertos aspectos nutricionales del cultivo. Así, las aguas regeneradas, produjeron frutos de calidad inferior (menos % de zumo, y más % de pulpa y corteza, aunque estos dos últimos parámetros no de manera estadísticamente significativa) (Tabla 5). En este sentido, Romero-Trigueros et al. (2017), en condiciones muy similares, han reportado resultados diferentes, no encontrando diferencias en el porcentaje de zumo entre ambos tipos de agua. Con aguas de buena calidad, un estrés hídrico moderado, en esta fase y para este mismo cultivo, produjo también una disminución de la calidad de los frutos, con valores de % de zumo e índice de color externo inferiores al control (Pérez-Pérez et al., 2014), como los observados en nuestros resultados con aguas regeneradas.

Por otra parte, las aguas regeneradas presentaron valores ligeramente superiores de boro, por encima de 100 ppm, umbral considerado tóxico para este cultivo (Legaz et al., 1995), y ligeramente inferiores a los reportados por otros autores utilizando aguas regeneradas en cítricos (Maurer et al., 1995; Reboll et al., 2000), y valores también superiores de cloruro en hoja (Tabla 6), aunque muy inferiores al 1% considerado como tóxico para cultivos sensibles (Ayers y Westcot, 1985). Por otra parte, la ozonización, produjo frutos ligeramente más

achataados (valores de Índice de forma inferiores, Tabla 5). Además se encontraron diversas interacciones significativas en algunos de estos parámetros. Así, la ozonización de aguas regeneradas produjo frutos significativamente menos coloreados que el resto de tratamientos (Tabla 4), y disminuciones significativas respecto al tratamiento no ozonizado de K, N total y Na en hoja, y aunque no de manera significativa también de Cu.

Tabla 5. Parámetros de calidad del fruto de la cosecha 2019-2020.

Factor	% Zumo	% Pulpa	% corteza	SST (°Brix)	Acidez (g/L)	Índice Madurez	Índice forma	Índice color externo
Tipo de Agua								
Trasvase	48,6 b	3,2	48,0	9,9	25,4	3,9	0,87	6,5 b
Regenerada	47,2 a	3,4	49,2	10,1	25,4	4,0	0,87	5,6 a
Ozonización								
Ozono SI	48,4	3,4	48,1	10,1	25,6	3,9	0,86 a	5,9
Ozono NO	47,4	3,2	49,2	9,9	25,1	3,9	0,88 b	6,2
Tipo agua x Ozonización								
T	48,1	3,2	48,5	9,9	25,0	4,0	0,88	6,2 b
TO ₃	49,1	3,2	47,5	10,0	25,9	3,9	0,86	6,8 b
R	46,8	3,2	49,8	10,0	25,3	3,9	0,88	6,3 b
RO ₃	47,6	3,5	48,6	10,2	25,4	4,0	0,86	5,0 a
ANOVA								
Tipo de Agua	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
Ozonización	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
Tipo agua x Ozonización	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*

* y ns indican diferencias significativas a $P<0,05$ y no significativas respectivamente, según el test de Rango Múltiple de Duncan. Para cada columna, valores con la misma letra, no son significativamente diferentes al 95%.

Tabla 6. Resultados estado nutricional del cultivo. Campaña 2019-210

Factor	B (ppm)	Cu (ppm)	K (%)	Na (%)	Cl (%)	N (%)
Tipo de Agua						
Trasvase	93,1 a	16,7	0,68	0,08	0,12 a	2,46
Regenerada	103,0 b	15,4	0,67	0,08	0,13 b	2,49
Ozonización						
Ozono SI	95,5	16,3	0,66	0,08	0,13	2,47
Ozono NO	100,6	15,7	0,69	0,08	0,13	2,49
Tipo agua x Ozonización						
T	95,2	14,67 a	0,66 ab	0,07 a	0,12	2,44 a
TO ₃	90,9	18,69 b	0,71 b	0,09 ab	0,12	2,48 ab
R	106,1	16,73 ab	0,72 b	0,10 b	0,14	2,53 b
RO ₃	99,9	13,97 a	0,61 a	0,07 a	0,13	2,45 a
ANOVA						
Tipo de Agua	*	ns	ns	ns	*	ns
Ozonización	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Tipo agua x Ozonización	ns	**	*	**	ns	*

*, **, y ns indican diferencias significativas a $P<0,05$; $P<0,01$ y no significativas respectivamente, según el test de Rango Múltiple de Duncan. Para cada columna, valores con la misma letra, no son significativamente diferentes al 95%.

5) Conclusiones y Recomendaciones

Nuestros resultados denotan que las instalaciones utilizadas para la aplicación de un tratamiento de ozonización a pie de parcela, cuando se utilizan aguas regeneradas, pueden presentar dificultades derivadas de la naturaleza de estas aguas (elevados niveles de materia orgánica y otras sustancias altamente oxidables), lo que hace necesario un estudio más exhaustivo de estos sistemas para poder llevar a cabo un tratamiento eficaz de O₃ en estas

condiciones. Dimensionar adecuadamente la generación de O_3 para cada instalación en función de la naturaleza de las aguas utilizadas e implementar sistemas que garanticen la presurización de la instalación y procuren la dosificación adecuada de medio ácido, pueden ser algunas de las recomendaciones a seguir para este tipo de instalaciones.

Por otra parte, la respuesta agronómica y fisiológica, ante estos tratamientos requiere igualmente de un mayor y más largo estudio, para poder alcanzar resultados confiables, dado que en el presente estudio solo se evaluaron los efectos de la aplicación de estos tratamientos durante una etapa muy concreta del desarrollo del fruto.

6) Agradecimientos

El trabajo ha sido financiado por el proyecto RIS3MUR REUSAGUA, financiado por la Consejería de Empresa, Industria y Portavocía de la Región de Murcia, en el marco del Programa Operativo FEDER 2014-2020.

7) Bibliografía

Abuarab, M., Mostafa, E., & Ibrahim, M. (2013). Effect of air injection under subsurface drip irrigation on yield and water use efficiency of corn in a sandy clay loam soil. *Journal of Advanced Research*, 4(6), 493–499.

Assouline, S., Narkis, K., 2013. Effects of long-term irrigation with treated wastewater on the root zone environment. *Vadose Zone J*

Ayers, R. S. y Westcot, D.W., 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29. Rome (Reprinted, 1989, 1994).

Bhattarai, S. P., and Midmore, D. J. (2004). Oxygation of rhizosphere with subsurface aerated irrigation water improves lint yield and performance of cotton on saline heavy clay soil. In “4th International Crop Science Congress,” Brisbane, Australia.

Bhattarai, S., Pendergast, L., and Midmore, D. J. (2005). Oxygation of subsurface drip irrigated tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) improves yield performance, tolerance to salinity and water use efficiency in normal and saline heavy clay soil. *Sci. Hortic.*

Gerrity, D., & Snyder, S. (2011). Review of Ozone for Water Reuse Applications: Toxicity, Regulations, and Trace Organic Contaminant Oxidation. *Ozone: Science & Engineering*, 33(4), 253–266.

Kim, I. H., Yamashita, N., Kato, Y., & Tanaka, H. (2009). Discussion on the application of UV/H(2)O(2), O(3) and O(3)/UV processes as technologies for sewage reuse considering the removal of pharmaceuticals and personal care products. *Water Science and Technology*, 59(5), 945–55.

Letey, J. 1961. Aeration, compaction and drainage. *Calif. Turf Grass Culture* 11,17–21.

Legaz, F., Serna, M.D., Ferrer, P., Cebolla V. and Primo-Millo, E., 1995. Análisis de hojas, suelos y aguas para el diagnóstico nutricional de plantaciones de cítricos. Procedimiento de toma de muestras. Generalitat Valenciana.

Martínez, S., Suay, R., Moreno, J., & Segura, M. L. (2013). Reuse of tertiary municipal wastewater effluent for irrigation of *Cucumis melo* L. *Irrigation Science*, 31(4), 661–672. <http://doi.org/10.1007/s00271-012-0342-4>

Maurer, M.A., Davies, F.S., and Graetz, D. A., 1995. Reclaimed wastewater irrigation of reser Marsh grapefruit trees. Hortucultural Sciencie Dept., Soil and Water Science Dept. University of Florida, Gainesville, Fla. 32611. Proc.Fla. State Hort. Soc. 108:93-99

Pérez-Pérez, J.G.; Robles, J.M.; Botía, P. 2014. Effects of deficit irrigation in different fruit growth stages on 'Star Ruby' grapefruit trees in semi-arid conditions. Agricultural Water Management. 133:44-54.

Poysa VW, Tan CS, Stone JA. Flooding stress and the root development of several tomato genotypes. Hort Sci 1987;22:24–6.

Reboll, V., Cerezo, M., Roig, A., Flors,V., Lapeña, V. and García-Agustín, P., 2000. Influne of wastewater vs groundwater on young Citrus trees. J. Sci. Food Agric. 80: 1441-1446.

Resh, 1997. Cultivos Hidropónicos, 4th ed., 509 pp., Ediciones MundiPrensa, Madrid, Spain

Romero-Trigueros, C., Nortes Tortosa, P.A., Pedrero Salcedo, F., Mounzer, O., Alarcón Cabañero, J.J., Bayona Gambín, J.M., Nicolás Nicolás, E., 2014a. Assessment of the viability of using saline reclaimed water in grapefruit in medium to long term. Spanish Journal of Agricultural Research, 12(4): 1137-1148. doi: 10.5424/sjar/2014124-5495

Romero-Trigueros, C. & Parra, Margarita & Bayona, Jose & Nortes, Pedro & Alarcón, J.J. & Nicolás, E.. (2017). Effect of deficit irrigation and reclaimed water on yield and quality of grapefruits at harvest and postharvest. LWT - Food Science and Technology. 405-4011. 10.1016/j.lwt.2017.05.001.

Seguí, L.A. 2004. Sistemas de regeneración y reutilización de aguas residuales. Metodología para el análisis Técnico-Económico y casos. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, España. 256pp.

Segura ML, Granados MR, Jiménez S (2003) Reutilización de agua residual para riego de judía verde: influencia sobre la producción y concentración de nutrientes en hoja. X Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas, Pontevedra, Spain. Actas de Horticultura 39:621–623

Schölander, P., Hammel, H., Bradstreet, E. and Hemmingsen, E. (1965). Sap pressure in vascular plants. Science 148, 339-345.

Tattini M, Gucci R, Romani A, Baldi A, Everard JD (1995) Growth, gas exchange and ion content in Olea europaea plants during salinity and subsequent relief. Physiol Plant 95:203–210.

A-32-2020

ESTUDIO DE LAS RELACIONES HÍDRICAS EN CEREZOS SOMETIDOS A CICLOS DE SUPRESIÓN – RECUPERACIÓN DEL RIEGO

Blaya Ros, P.J.¹, Blanco Montoya, V.¹, Torres Sánchez, R.², González Teruel, J.D.², Soto Valles, F.², Toledo Moreo, A.B.², Jiménez Buendía, M.², Domingo Miguel, R.¹

¹ Dpto. de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 48. 30203, Cartagena. pedro.blaya@upct.es; victor.blanco@upct.es; rafael.domingo@upct.es

² Dpto. de Automática, Ingeniería Eléctrica y Tecnología Electrónica, Universidad Politécnica de Cartagena (ETSII-UPCT). roque.torres@upct.es; juando.gonzalez@upct.es; pencho.soto@upct.es; ana.toledo@upct.es; manuel.jimenez@upct.es.

Resumen

En climas áridos y semiáridos, donde los recursos hídricos son escasos, es necesario aumentar la eficiencia en el uso del agua. Para ello, el conocimiento de las relaciones hídricas se convierte en un factor determinante. Con el objetivo de estudiar la respuesta fisiológica y vegetativa de cerezos jóvenes (*Prunus avium* L.) “Lapins” se realizó un experimento en 2019 consistente en la aplicación de dos ciclos de supresión - recuperación del riego a partir de tres tratamientos: i) control, CTL, regado al 115 % de sus necesidades hídricas máximas durante todo el ensayo; ii) déficit moderado-severo, MS, regado como CTL hasta finales de junio, momento a partir del cual se alternaron 2 ciclos consecutivos de supresión - reanudación del riego; iii) déficit severo, SS, similar a MS pero con árboles sometidos a un estrés de mayor intensidad y duración. Los indicadores de suelo y planta estudiados fueron sensibles al estrés hídrico, lo que provocó la caída de los potenciales matricial del agua en el suelo e hídrico de tallo a mediodía, y un aumento de la temperatura de la copa y de los índices derivados de ésta. Todos los indicadores estudiados alcanzaron valores similares a CTL durante los periodos de recuperación. El crecimiento vegetativo se vio drásticamente afectado por la intensidad y duración del déficit hídrico.

1) Introducción

La cuenca mediterránea caracterizada por un marcado déficit hídrico estacional, acentuado como consecuencia del cambio climático, es un área donde el uso eficiente del agua es clave. En estas zonas, caracterizadas por tener un clima semiárido y árido, se producen frecuentes episodios de sequía, los cuales ponen en peligro al principal consumidor de los suministros hídricos, la agricultura (Fereres y Soriano, 2007). Esta realidad, cada vez más agravada, ha hecho necesario incrementar la eficiencia en el uso del agua y realizar una programación óptima del agua disponible, sin afectar a la producción o calidad de la cosecha.

La programación precisa del riego puede contribuir a ello, a través del conocimiento directo o indirecto del estado hídrico de la planta a partir de distintos indicadores. Existen numerosos indicadores del estado hídrico del suelo y de la planta de utilidad en la elaboración y supervisión de programas de riego, si bien, son los de suelo los más frecuentemente utilizados a nivel comercial, debido a que sus medidas pueden ser fácilmente automatizables (Jones, 2007) e interpretables. Sin embargo, el número de medidas necesarias para representar adecuadamente el estado hídrico del cultivo suele ser superior a los basados en planta ya que a pesar de su alta intensidad de señal se ven afectados por la alta variabilidad de las medidas (Naor et al., 2006). En contraste, los indicadores del estado hídrico de la planta, aunque representan con mayor fidelidad su estado hídrico, son aplicados principalmente en el ámbito de la investigación por su mayor dificultad de medida e

interpretación. Tradicionalmente los investigadores han sugerido el uso del potencial hídrico de tallo como el indicador de referencia para determinar el estado hídrico de la planta (Schackel et al., 1996); sin embargo, su aplicabilidad en campo es compleja, debido a que es una técnica muy laboriosa y no automatizable. Otro indicador de planta que se está imponiendo en los últimos años es la temperatura de copa, T_c , debido al desarrollo de equipos capaces de realizar medias continuas y a distintas escalas, es decir, desde una hoja hasta una cuenca (García-Tejero et al., 2018a). La regulación de T_c es de suma importancia para las plantas, debido a que pequeñas modificaciones puede afectar de forma contundente a procesos fisiológicos importantes en los que intervienen reacciones químicas, y los relativos a la división y el crecimiento celular, los cuales pueden verse gravemente afectados a temperaturas extremas (Jones, 2018).

2) Objetivo

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la respuesta fisiológica y vegetativa de cerezos jóvenes sujetos a dos ciclos de supresión - recuperación del riego, con el fin de valorar la utilidad de las medidas de temperatura de copa y los índices derivados de ella para detectar y cuantificar situaciones de estrés hídrico en planta y su interés para el manejo del riego.

3) Material y Métodos

El ensayo se llevó a cabo en la Estación Experimental Agroalimentaria 'Tomás Ferro' (ETSIA-UPCT), ubicada en Cartagena, durante el periodo junio – septiembre de 2019 (días del año, DDA, 170 – 268). El experimento se realizó en cerezos (*Prunus avium* L.) "Lapins" de 3 años de edad, injertados sobre "Mirabolano", y a marco de 3,5 m x 2,25 m. Cada árbol se regó a partir de tres emisores autocompensantes de 2,2 L h⁻¹, colocados en un único lateral de riego y a 75 cm de separación. El agua de riego, proveniente del transvase Tajo-Segura, presentó una conductividad eléctrica ($CE_{25^{\circ}C}$) de 1,1 dS m⁻¹.

Al inicio del ensayo se establecieron 3 tratamientos de riego según un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones y 4 árboles por repetición: i) CTL, control, regado para satisfacer el 115 % de las necesidades hídricas del cultivo, ii) MS, déficit moderado-severo, regado como CTL hasta finales de junio, momento a partir del cual se alternaron 2 ciclos consecutivos de supresión-reanudación del riego. El riego se reanudó tras alcanzar un potencial hídrico de tallo, Ψ_{stem} , de -1,3 MPa en el primer ciclo y de -1,6 MPa en el segundo; y iii) SS, déficit severo, similar a MS, pero con recuperaciones a -1,6 MPa y -2,3 MPa. Los periodos de recuperación se dieron por finalizados cuando los valores de Ψ_{stem} de los tratamientos deficitarios alcanzaron valores de Ψ_{stem} similares a los de los árboles CTL durante al menos 4 días consecutivos.

Las variables meteorológicas fueron proporcionadas por la estación climática CA12 del Servicio de Información Agraria de la Región de Murcia, SIAM, ubicada a 200 m de la parcela experimental. Las condiciones meteorológicas fueron típicas del clima mediterráneo con veranos secos y calurosos e inviernos suaves y húmedos. Las necesidades hídricas del cultivo fueron calculadas semanalmente a partir de la evapotranspiración del cultivo, ET_c , según la metodología FAO:

$$ET_c = ET_0 \times K_c \times K_L$$

donde, ET_0 es la evapotranspiración de referencia (Allen et al., 1998); K_c , coeficiente de cultivo (Marsal, 2012); K_L , coeficiente corrector por localización dependiente de la superficie del suelo cubierta por las copas de los árboles (Ferreira y Castel, 1981).

Con el objetivo de conocer el estado energético del suelo de forma continua se instalaron tres sensores (MPS-6 Decagon Devices, Pullman WA, USA) por tratamiento de medida dieléctrica, calibrados y con compensación térmica para monitorizar el potencial matricial de agua en el suelo, Ψ_m . Los sensores fueron colocados a 25 cm de profundidad y

a 23 cm del emisor central. El análisis de los datos Ψ_m se realizó a partir de la media de los valores registrados en el periodo de 8:00-10:00 h UT.

El estado hídrico de la planta fue determinado a partir del potencial hídrico de tallo, Ψ_{stem} , y de la temperatura de copa, T_c , medidos a mediodía (11:00 – 13:00 UT) cada 3-7 días. Ψ_{stem} fue determinado con una cámara de presión tipo Scholander (mod. SF-PRES-70, SolFranc Tecnologías, S.L., Spain) en 2 hojas adultas, sanas y cercanas al tronco por repetición ($n = 6$). T_c fue medida con una cámara térmica (Flir One, Flir Systems, Wilsonville, OR, USA), conectada a un teléfono inteligente, smartphone. Se tomaron dos imágenes por repetición ($n = 6$) en la parte soleada del árbol y a una distancia de 1,5 m de la copa, de acuerdo con las indicaciones propuestas por Costa et al. (2013) e Idso et al. (1981). La emisividad fue configurada en “matt” ($\epsilon = 0,95$; García-Tejero et al., 2018b) y las imágenes fueron analizadas en el programa informático Flir Tools application (Flir One, Flir Systems, Wilsonville, OR, USA), siguiendo las recomendaciones propuestas por Gómez-Bellot et al. (2015).

Una vez obtenida T_c , y para mitigar el efecto de las variables meteorológicas, dos índices térmicos fueron calculados: (i) la diferencia entre la temperatura de la copa y la del aire circundante (ΔT); y ii) el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI, crop water stress index; Jackson et al., 1981):

$$\Delta T = T_c - T_a$$

$$CWSI = \frac{\Delta T - \Delta T_{wet}}{\Delta T_{dry} - \Delta T_{wet}}$$

donde, T_a es la temperatura del aire circundante en el momento de la medida; T_c es la temperatura de la cubierta vegetal; ΔT_{wet} es la diferencia entre la temperatura de la copa y la del aire circundante cuando el cultivo tiene los estomas completamente abiertos y ΔT_{dry} cuando están completamente cerrados. De acuerdo con Jones (1999), ΔT_{wet} fue determinada a partir de la línea límite inferior, LLI ($T_{\Delta_{wet}} = a + b \cdot DPV$), obtenida tras la pulverización del limbo de la hoja con una solución de agua y detergente al 0,01 % (v/v) aproximadamente 1 min antes de realizar la imagen. ΔT_{dry} fue determinada a partir de la línea límite superior, LLS. Para provocar un cierre estomático total y obtener LLS, se aplicó una fina capa de petroleum jelly (vaselina) en el limbo 1 h antes de la medición. Los datos de T_a , humedad relativa (HR) y el déficit de presión de vapor (DPV) fueron obtenidos mediante tres sensores climáticos (VP-4, Decagon Devices, Pullman WA, USA) y almacenados en un datalogger (CR1000, Campbell Scientific Ltd., Logan, USA).

Adicionalmente, se evaluó el crecimiento vegetativo del cultivo a partir del incremento del diámetro de tronco, ΔDT , y del peso de la poda de invierno. ΔDT fue medido con una cinta métrica (Pi meter MF612 A, Weiss, Erbenhof, Germany) y los pesos de poda con una balanza electrónica (Scaltec, modelo SSH91, Heiligenstadt, Germany) en los dos árboles centrales de cada repetición ($n = 6$).

El análisis estadístico de los datos se realizó con el programa informático SPSS Statistics (SPSS Inc., 24.0 Statistical package; Chicago, IL, USA), a partir del análisis de la varianza (ANOVA) y pruebas de comparación múltiples a un nivel de confianza del 95%. Las regresiones lineales y no lineales entre los indicadores fueron realizadas con Sigmaplot Plus v.12.5 (Systat Software, San Jose, CA, USA).

4) Resultados y Discusión

El indicador Ψ_m evidenció el régimen hídrico impuesto por los ciclos de supresión-reanudación del riego (Figura 1). Los árboles del tratamiento CTL mantuvieron, durante todo el periodo estudiado, valores medios de Ψ_m característicos de capacidad campo ($\Psi_m > -30$ kPa) y semejantes a los mostrados por Blanco et al. (2018) en cerezos adultos y sin restricción hídrica. Por otro lado, los árboles de los tratamientos deficitarios, MS y SS, mantuvieron valores similares a CTL en los periodos en los que se satisficieron las necesidades hídricas. Tras la supresión del riego en el tratamiento MS, Ψ_m disminuyó de forma abrupta hasta alcanzar valores mínimos de -744 kPa (DDA 186) y -814 kPa (DDA 221) durante el primer ciclo y segundo ciclo de supresión, respectivamente. Por su parte, SS, tratamiento sometido a un mayor estrés hídrico en planta, mostró valores mínimos de -540 kPa (DDA 197) y -670 kPa (DDA 235) durante el primer y segundo periodo de supresión, respectivamente. A pesar de que el segundo periodo de restricción hídrica en los árboles SS fue superior (DDA 208 – 242), no se alcanzaron valores mínimos similares a MS, debido a las precipitaciones acaecidas (19 mm) entre los DDA 233-240, lo que provocó un aumento de los valores Ψ_m y, por lo tanto, una recuperación parcial del estado energético del agua en el suelo. En ambos tratamientos deficitarios se observó un cambio de pendiente en la caída de Ψ_m . La ralentización de la pendiente, asociada al agotamiento del agua en suelo, fue de mayor duración en el tratamiento SS. La alta variabilidad de los valores Ψ_m , suele ser debida a la heterogeneidad del suelo y a la distribución del sistema radical (Naor et al., 2006).

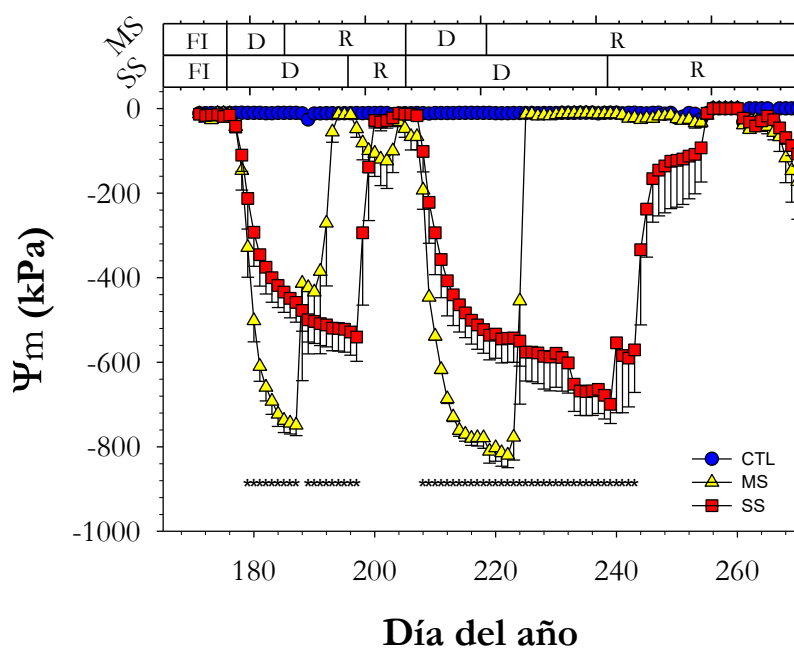


Figura 1. Evolución del potencial matricial del suelo, Ψ_m , durante el periodo de estudio. Cada punto es la media \pm el error estándar (ES) de 3 medidas por tratamiento. Los asteriscos indican diferencias significativas según el test de Rango Múltiple de Duncan ($p < 0,05$). Las barras horizontales superiores indican los periodos de los ciclos supresión-recuperación del riego que definieron a los tratamientos MS y SS. 'FI' es el periodo previo al inicio de los ciclos de supresión-recuperación, en el que ambos tratamientos fueron regados como CTL; 'D', periodo de supresión de riego; 'R', periodo de recuperación de los árboles.

Ψ_{stem} , indicador de referencia para determinar el estado hídrico de la planta, mostró una tendencia parecida a Ψ_m (Figuras 1 y 2a), viéndose fuertemente influenciado por la supresión del riego. El tratamiento CTL mantuvo valores Ψ_{stem} propios de árboles sin limitaciones hídricas (Ψ_{stem} medio = -0,62 MPa) y similares a los obtenidos por Blanco et al.

(2019) en cerezo. Los valores de Ψ_{stem} de los árboles deficitarios, una vez que el riego fue suprimido, disminuyeron gradualmente hasta alcanzar los valores umbrales Ψ_{stem} preestablecidos. Los valores mínimos de Ψ_{stem} alcanzados tras la supresión del riego fueron -1,24 MPa y -1,86 MPa en el tratamiento MS y -1,64 MPa y -2,40 MPa en el tratamiento SS para el primer y segundo ciclo, respectivamente. Blanco et al. (2018) reportaron como perjudiciales valores Ψ_{stem} inferiores a -1,3 MPa en cerezo "Prime Giant", ya que suponen un agotamiento importante de las reservas hídricas de las ramas principales, y, por lo tanto, de su capacidad de contracción diaria. En idéntica línea, Marsal et al.,(2010) consideran que valores de Ψ_{stem} inferiores a -1,5 MPa pueden perjudicar significativamente a producciones futuras.

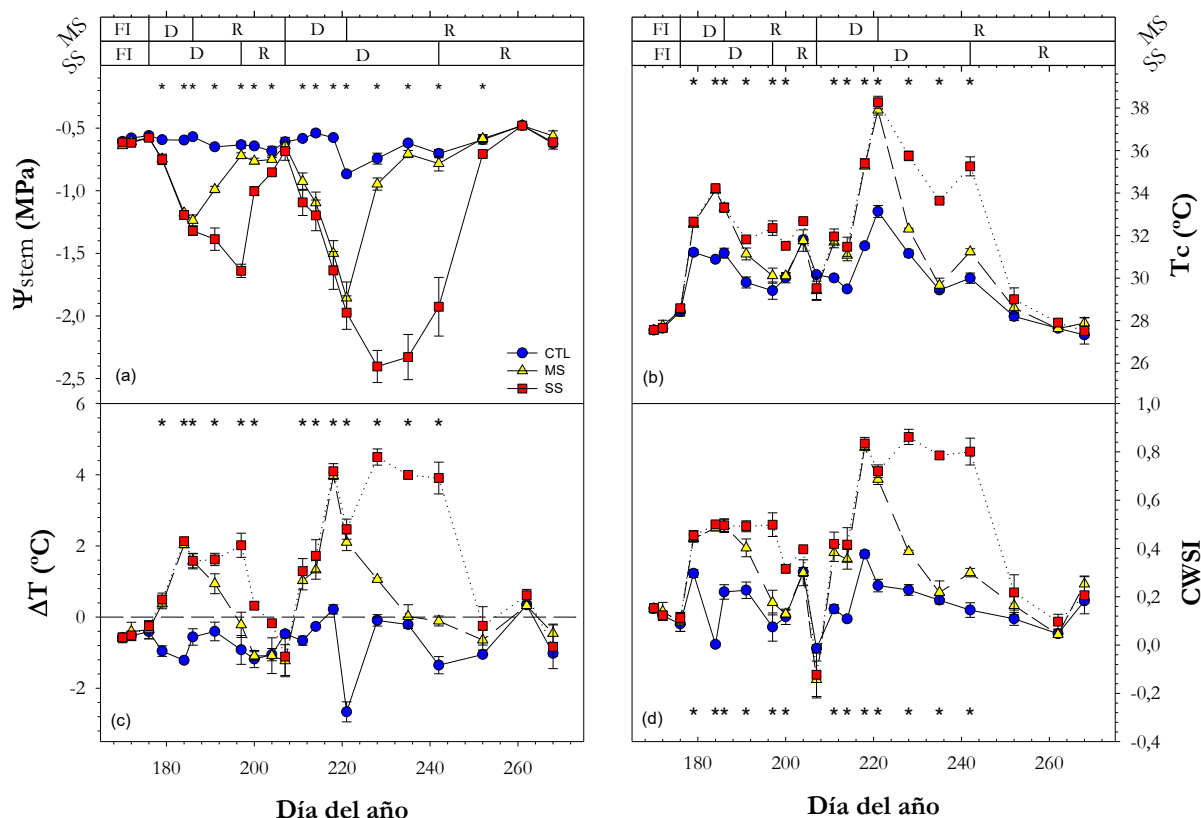


Figura 2. Evolución del (a) potencial hídrico de tallo a mediodía (Ψ_{stem}), (b) temperatura de la cubierta vegetal (T_c), su diferencial con respecto al aire (ΔT) y (c) del índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI) durante el periodo de estudio. Cada punto es la media \pm ES de 6 medidas por tratamiento. Los asteriscos indican diferencias significativas según el test de Rango Múltiple de Duncan ($p < 0,05$). Las barras horizontales superiores indican los periodos de los ciclos supresión-recuperación del riego que definieron a los tratamientos MS y SS. 'FI' es el periodo previo al inicio de los ciclos de supresión-recuperación, en el que ambos tratamientos fueron regados como CTL; 'D', periodo de supresión de riego; 'R', periodo de recuperación de los árboles.

La temperatura de copa, T_c , (Figura 2b) aumentó en los tratamientos deficitarios, posiblemente como consecuencia de la regulación estomática ante el déficit hídrico, lo que pudo reducir la transpiración y con ello la disipación de calor a través de la evaporación de agua (Jones, 2018). Este aumento de T_c se tradujo en valores ΔT superiores a los de CTL (Figura 2c), y estuvieron próximos a los valores de LLS ($\Delta T_{\text{dry}} \approx 6,0$ °C). Igualmente, el aumento de T_c respecto a la temperatura del aire circundante (T_a) incrementó los valores de CWSI (Figura 2d), alcanzando valores cercanos a 0,5 durante el primer ciclo de supresión y

de 0,8 – 0,9 durante el segundo periodo de supresión en ambos tratamientos de riego deficitario. Adicionalmente se observó que los valores de CWSI alcanzados durante la segunda supresión del riego en MS fueron superiores a los obtenidos en el primer ciclo de supresión del riego de SS, lo que posiblemente se debiera a un aumento de la demanda climática reinante (ET_0 y T_a) durante este segundo periodo, además de un incremento de las necesidades hídricas del cultivo propiciado por el crecimiento vegetativo (datos no mostrados). Por otro lado, los árboles CTL mantuvieron valores inferiores a la temperatura del aire durante todo el periodo experimental (ΔT media = $-0,72^\circ\text{C}$), consecuencia de una óptima tasa transpirativa. Sin embargo, los árboles CTL mostraron un valor medio de CWSI de 0,16 durante el experimento, lo que puede ser indicativo de que su apertura estomática no se correspondiese con la máxima teórica, posiblemente debido a un aumento de la resistencia al flujo del agua, aun cuando el agua del suelo no fuera un factor limitante (Jackson et al., 1988).

La Figura 3a representa la relación no lineal obtenida entre Ψ_{stem} y Ψ_m . En ella se puede observar que para valores inferiores a -600 kPa para MS y -300 kPa para SS, Ψ_{stem} disminuye en mayor medida en respuestas a las reducciones de Ψ_m , este valor correspondería a un Ψ_{stem} próximo a $-1,0$ MPa en ambos tratamientos. Una relación similar fue descrita por Livellara et al. (2011) en cerezos 'Brooks', indicando que el estado hídrico del suelo influyó de forma evidente en el estado hídrico de la planta. Sin embargo, la relación entre Ψ_{stem} y Ψ_m no siempre está estrechamente relacionados debido a los procesos de absorción o desorción (Blanco et al., 2018), además de una disminución en el contacto raíz-suelo debido a la aparición de una fase gaseosa a medida de que el suelo se seca (Dodd et al., 2010). Por otro lado, la relación encontrada entre ΔT y Ψ_m muestra una tendencia lineal (Figura 3b), en la que disminuciones de Ψ_m conllevan aumentos de ΔT .

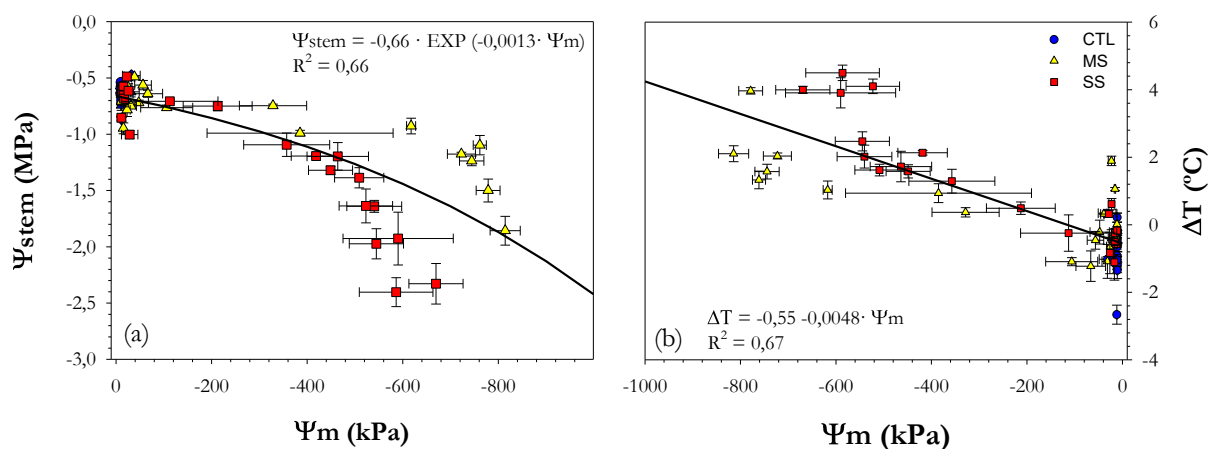


Figura 3. (a) Relación entre el potencial hídrico de tallo (Ψ_{stem}) y el potencial matricial (Ψ_m), y (b) relación entre la diferencia de temperatura de la copa-aire (ΔT) y Ψ_m . Cada punto es la media \pm ES de 3 medidas para Ψ_m y 6 medidas para Ψ_{stem} y ΔT por tratamiento.

Al igual que para la relación Ψ_{stem} vs Ψ_m (Figura 3a), se encontró una relación no lineal entre Ψ_{stem} y T_c (Figura 4a), en la que se pueden observar dos partes diferenciadas, una más plana para altos valores de Ψ_{stem} y otra lineal de pendiente negativa a partir de valores Ψ_{stem} inferiores a $-1,0$ MPa y de temperatura superiores a 32°C . Este segundo tramo podría estar causado por la reducción de la transpiración y la influencia de las variables meteorológicas sobre el aumento de T_c y la recarga parcial de las capacitancias del árbol durante la noche. Contrariamente a lo observado por García-Tejero et al. (2018b) en almendros, T_c muestra cierta limitación para evaluar el estado hídrico de cerezos en aquellos periodos donde el déficit hídrico es considerado como ligero-moderado. Por otro lado, se

puede observar que las relaciones obtenidas entre Ψ_{stem} y los índices térmicos derivados de T_c , ΔT y CWSI, no se vieron afectadas hasta que se alcanzaron valores superiores a 0 °C para ΔT y 0,25 para CWSI, momento en el cual se observó un cambio de pendiente, provocando que un descenso de Ψ_{stem} implicara un aumento proporcional de ambos índices. Estas relaciones indican que los índices calculados, de acuerdo con Jackson et al. (1977) y Jackson et al. (1981), permiten mitigar en parte la influencia de las variables meteorológicas sobre T_c en cerezos. Wang y Gartung (2010) observaron una relación lineal entre Ψ_{stem} y ΔT en peral, donde Ψ_{stem} alcanzó valores cercanos a -2,0 MPa sin que esta se viera afectada; sin embargo, Ballester et al. (2013) indicaron un cambio de tendencia de esta relación en caqui para un valor Ψ_{stem} próximo a -1,6 MPa. Wang y Gartung (2010) en peral y Tekelioğlu et al. (2017) en soja señalaron la robustez de los índices derivados de T_c en para ser utilizados en la determinación del estado hídrico de la planta en climas mediterráneos y, por tanto, como un instrumento apto para la elaboración de programas de riego.

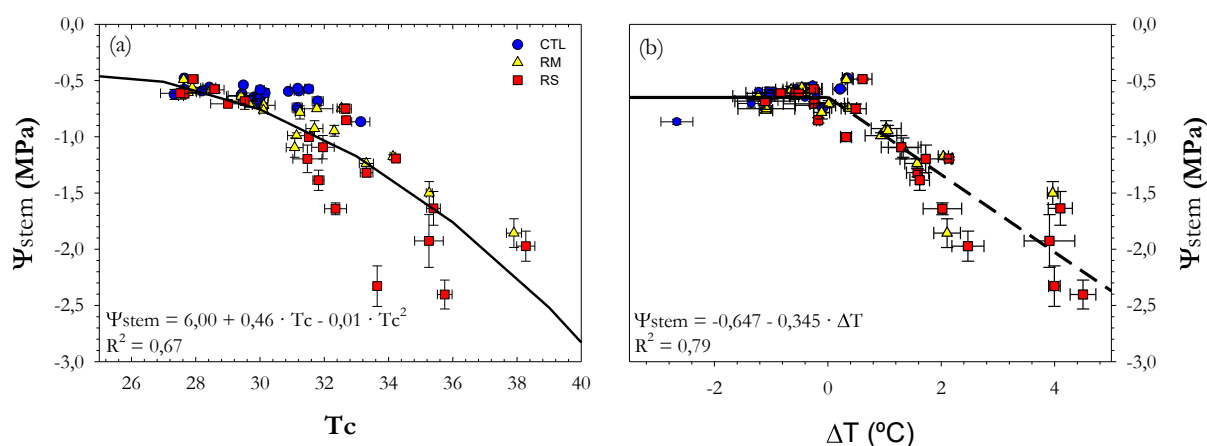


Figura 4. (a) Relación entre la temperatura de copa (T_c) y el potencial hídrico de tallo (Ψ_{stem}). (b) Relación entre la diferencia de temperatura copa-aire (ΔT) y Ψ_{stem} . Cada punto es la media \pm ES de 6 medidas por tratamiento.

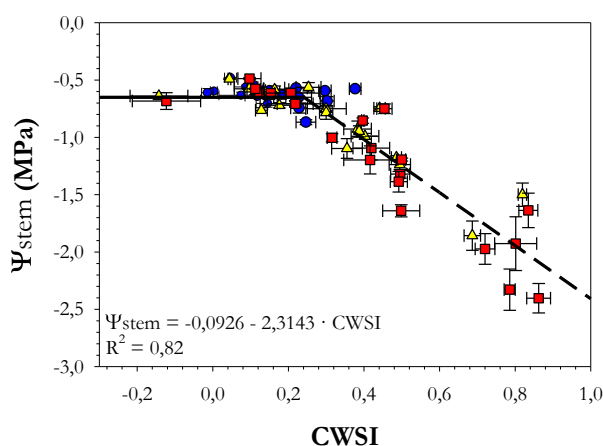


Figura 5. Relación entre el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI) y el potencial hídrico de tallo (Ψ_{stem}). Cada punto es la media \pm ES de 6 medidas por tratamiento.

Durante el periodo experimental, se observó que el crecimiento vegetativo, determinado a partir del incremento del diámetro de tronco, ΔDT , y del peso de la poda, fue

sensible al régimen hídrico impuesto durante el periodo de estudio (Figura 6), observándose reducciones de ΔDT con respecto a CTL de 24 % y 41 %, para MS y SS, respectivamente. Por otro lado, la poda mostró una sensibilidad similar al déficit hídrico que ΔDT , obteniendo reducciones del 38 % y 64 % con respecto a los árboles de CTL para MS y SS, respectivamente. Estos datos confirman los obtenidos por Nieto et al. (2017), donde encontraron una relación positiva entre el crecimiento vegetativo de los árboles y el volumen de agua aplicado. Además, otros autores han reportado que un déficit hídrico en árboles jóvenes puede afectar drásticamente al volumen de copa y a su entrada en producción (Livellara et al., 2011).

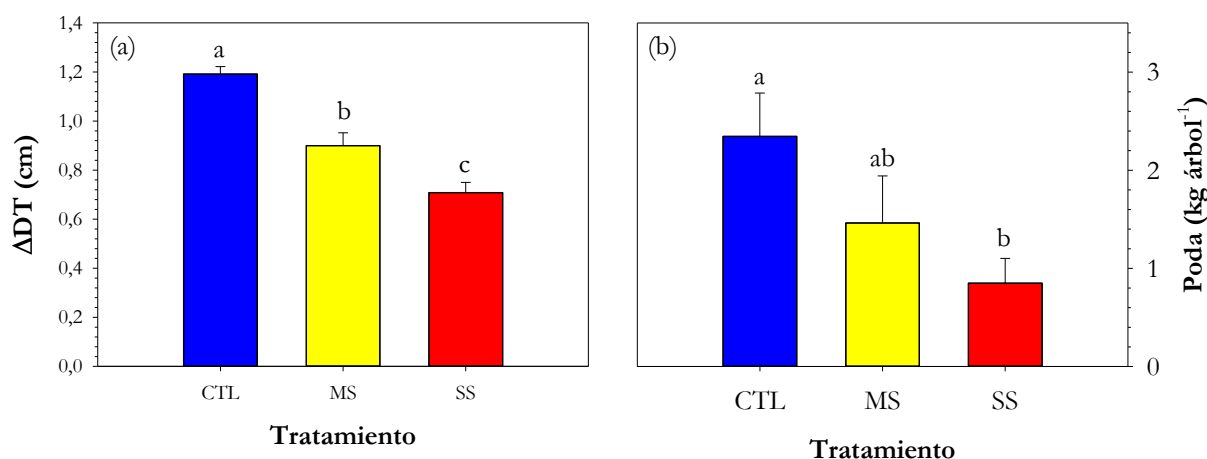


Figura 6. (a) Variación del diámetro de tronco (ΔDT) y peso de poda correspondiente al periodo de estudio. Cada punto es la media \pm ES de 6 medidas por tratamiento. Barra con letras diferentes indican diferencias significativas según el test de Rango Múltiple de Duncan ($p < 0,05$).

5) Conclusiones

Ψ_m mostró una rápida respuesta al cambio del contenido de agua del suelo. Sin embargo, presentó una variabilidad superior a la de los indicadores de planta estudiados, especialmente respecto a Ψ_{stem} , lo que sugiere la necesidad de disponer de un mayor número de medidas para representar adecuadamente el estado hídrico del suelo e indirectamente del cultivo a través de Ψ_m . Por otro lado, el uso de la temperatura de copa a través de sus índices ΔT y CWSI puede ser muy útil para estudiar y evaluar la respuesta de cerezos al déficit hídrico, así como para elaborar y supervisar programas de riego basados en niveles de estrés diferentes. El estrés hídrico de los árboles MS y SS afectó de forma clara al crecimiento del árbol, provocando reducciones en el peso de poda del 40 y 60 %, respectivamente; indicando la alta sensibilidad de este proceso al déficit hídrico en plantaciones jóvenes.

6) Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad del Gobierno de España, MICIIN (Ref. AGL2016-77282-C3-3-R) y la Fundación Séneca de la Región de Murcia (Grupo de excelencia 2016-2019, Ref. 19895/GERM/15).

6) Bibliografía

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper No. 56. Rome, Italy, pp 15–27.
- Ballester, C., Jiménez-Bello, M.A., Castel, J.R., Intrigliolo, D.S., 2013. Usefulness of thermography for plant water stress detection in citrus and persimmon trees. *Agric. For. Meteorol.* 168, 120–129.
- Blanco, V., Domingo, R., Pérez-Pastor, A., Blaya-Ros, P.J., Torres-Sánchez, R., 2018. Soil and plant water indicators for deficit irrigation management of field-grown sweet cherry trees. *Agric. Water Manag.* 208, 83–94.
- Blanco, V., Torres-Sánchez, R., Blaya-Ros, P.J., Pérez-Pastor, A., Domingo, R., 2019. Vegetative and reproductive response of 'Prime Giant' sweet cherry trees to regulated deficit irrigation. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 249, 478–489.
- Costa, J.M., Grant, O.M., Chaves, M.M., 2013. Thermography to explore plant-environment interactions. *J. Exp. Bot.* 64, 3937–3949.
- Dodd, I.C., Egea, G., Watts, C.W., Whalley, W.R., 2010. Root water potential integrates discrete soil physical properties to influence ABA signalling during partial rootzone drying. *J. Exp. Bot.* 61, 3543–3551.
- Fereres, E., Castel, J.R., 1981. Drip Irrigation Management. Division of Agricultural Sciences, University of California (Leaflet 21259).
- Fereres, E., Soriano, M.A., 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *J. Exp. Bot.* 58, 147–159.
- García-Tejero, I.F., Gutiérrez-Gordillo, S., Ortega-Arévalo, C., Iglesias-Contreras, M., Moreno, J.M., Souza-Ferreira, L., Durán-Zuazo, V.H., 2018a. Thermal imaging to monitor the crop-water status in almonds by using the non-water stress baselines. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 238, 91–97.
- García-Tejero, I.F., Gutiérrez-Gordillo, S., Souza, L., Cuadros-Tavira, S., Durán-Zuazo, V.H., 2018b. Fostering sustainable water use in almond (*Prunus dulcis* Mill.) orchards in a semiarid Mediterranean environment. *Arch. Agron. Soil Sci.* 65, 164–181.
- García-Tejero, I.F., Ortega-Arévalo, C.J., Iglesias-Contreras, M., Moreno, J.M., Souza, L., Tavira, S.C., Durán-Zuazo, V.H., 2018c. Assessing the crop-water status in almond (*Prunus dulcis* Mill.) trees via thermal imaging camera connected to smartphone. *Sensors* 18, 1050.
- Gómez-Bellot, M.J., Nortes, P.A., Sánchez-Blanco, M.J., Ortuño, M.F., 2015. Sensitivity of thermal imaging and infrared thermometry to detect water status changes in *Euonymus japonica* plants irrigated with saline reclaimed water. *Biosyst. Eng.* 133, 21–32.
- Idso, S.B., Jackson, R., Pinter, P.J., Reginato, R.J., Hatfield, J.L., 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agric. Meteorol.* 24, 45–55.
- Jackson, R., Idso, S., Reginato, R., Pinter, P., 1981. Canopy temperature as a Crop Water Stress Indicator. *Water Resour. Res.* 17, 1133–1138.
- Jackson, R.D., Kustas, W.P., Choudhury, B.J., 1988. A reexamination of the crop water stress index. *Irrig. Sci.* 9, 309–317.
- Jackson, R.D., Reginato, R.J., Idso, S.B., 1977. Wheat canopy temperature: A practical tool for evaluating water requirements. *Water Resour. Res.* 13, 651–656.
- Jones, H.G., 2018. Thermal Imaging and Infrared Sensing in Plant Ecophysiology. In

- A. M. Sánchez-Moreiras, A. M., Reigosa, M. J. (Eds.), *Advances in Plant Ecophysiology Techniques*. pp. 135-151.
- Jones, H.G., 2007. Monitoring plant and soil water status: established and novel methods revisited and their relevance to studies of drought tolerance. *J. Exp. Bot.* 58, 119–130.
- Jones, H.G., 1999. Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Agric. For. Meteorol.* 95, 139–149.
- Livellara, N., Saavedra, F., Salgado, E., 2011. Plant based indicators for irrigation scheduling in young cherry trees. *Agric. Water Manag.* 98, 684–690.
- Marsal, J., 2012. *FAO irrigation and drainage paper 66. Crop Yield Response Water. Sweet Cherry*. FAO, Rome, pp. 449-457.
- Marsal, J., Lopez, G., del Campo, J., Mata, M., Arbones, A., Girona, J., 2010. Postharvest regulated deficit irrigation in “Summit” sweet cherry: Fruit yield and quality in the following season. *Irrig. Sci.* 28, 181–189.
- Naor, A., Gal, Y., Peres, M., 2006. The inherent variability of water stress indicators in apple, nectarine and pear orchards, and the validity of a leaf-selection procedure for water potential measurements. *Irrig. Sci.* 24, 129–135.
- Nieto, E., Prieto, M.H., Fortes, R., Gonzalez, V., Campillo, C., 2017. Response of a long-lived cherry cultivar to contrasting irrigation strategies in the Jerte Valley, Extremadura, Spain. *Acta Hortic.* 1161, 197–204.
- Schackel, K.A., Ahmadi, H., Biasi, W., Burchner, R., Goldhamer, D.A., Gurusinghe, S., Hasey, J., Kester, D., Krueger, B., Lampinen, B., McGourty, G., Micke, W., Mitcham, E., Olson, B., Pelletrau, K., Philips, H., Ramos, D., Schwankl, L., Sibbett, S., Snyder, R., Southwick, S., Stevenson, M., Thorpe, M., Weinbaum, S., Yeager, J., 1996. Plant water status as an index for irrigation need in deciduous fruit trees. *Hort Technol.* 7, 23–29.
- Tekelioğlu, B., Büyüktaş, D., Baştuğ, R., Karaca, C., Aydınşakir, K., Dinç, N., 2017. Use of Crop Water Stress Index for Irrigation Scheduling of Soybean in Mediterranean Conditions. *J. Exp. Agric. Int.* 18, 1–8.
- Wang, D., Gartung, J., 2010. Infrared canopy temperature of early-ripening peach trees under postharvest deficit irrigation. *Agric. Water Manag.* 97, 1787–1794.

EVALUACIÓN DE LINEAS DE REFERENCIA DE POTENCIAL DE TALLO Y MÁXIMA CONTRACCIÓN DIARIA DE RAMA PARA LA PROGRAMACIÓN DEL RIEGO EN CEREZO

Blanco Montoya, V. (1), Blaya Ros, P.J. (1), Temnani, A. (1), Torres Sánchez, R. (2), González Teruel, J.D. (2), Soto Valles, F (2), Toledo Moreo, A.B. (2), Jiménez Buendía, M. (2), Domingo Miguel, R. (1)

¹Dpto. de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena. victor.blanco@upct.es; pedro.blaya@upct.es; abdelmalek91@gmail.com; rafael.domingo@upct.es

²Dpto. de Automática, Ingeniería Eléctrica y Tecnología Electrónica, Universidad Politécnica de Cartagena. roque.torres@upct.es; juando.gonzalez@upct.es; pencho.soto@upct.es; ana.toledo@upct.es; manuel.jimenez@upct.es.

Introducción

Conocer el estado hídrico de la planta es clave para reducir los volúmenes de agua a aplicar en relación a sus necesidades máximas sin penalizar la producción. En árboles frutales, el potencial hídrico de tallo a mediodía se considera el indicador de referencia; sin embargo, presenta la limitación de que no se puede automatizar. Por ello, indicadores que pueden ser obtenidos a partir de medidas continuas en tiempo real y de fácil automatización, como la máxima contracción diaria de rama, tienen gran interés.

OBJETIVO: Elaborar y analizar las líneas de referencia Ψ_t y MCD en relación a variables meteorológicas.

Materiales y Métodos

Condiciones Experimentales

Cerezo [*Prunus avium* (L.)] "Prime Giant"/SL64

Localización: Finca Toli, Jumilla, Región de Murcia

Plantación (2000): 667 árboles ha⁻¹

Riego por goteo: 3 emisores (4 L h⁻¹) por árbol

Calidad agua de riego: EC= 0.8 dS/m

Campañas: 2015 y 2016

Diámetro rama medio: 9,03 ± 0,68 cm

Condiciones meteorológicas: Clima Mediterráneo.

	ET ₀ acumulada (mm)	Agua aplicada (mm)
2015	1272	692
2016	1220	703

Los árboles fueron regados durante toda la campaña (Abril – Noviembre) para mantener condiciones no limitantes de agua en suelo al 110 % ETC.

Resultados

Ψ_t y MCD resultaron muy dependientes de las variables climáticas, particularmente del déficit de presión de vapor (DPV).

Relaciones potencial de tallo a mediodía (Ψ_t) y máxima contracción diaria (MCD) versus variables meteorológicas. Relaciones expresadas como: $y = ax + b$.

Ψ_t	a	b	r ²	n	ecm
Ψ_t vs. T _m					
2015	-0,026	-0,08	0,73	16	0,0059
2016	-0,026	-0,10	0,66	14	0,0078
Ψ_t vs. T _{Max}					
2015	-0,021	-0,019	0,75	16	0,0055
2016	-0,022	-0,014	0,69	14	0,0069
Ψ_t vs. ET ₀					
2015	-0,081	-0,233	0,64	16	0,2057
2016	-0,067	-0,287	0,45	14	0,0124
Ψ_t vs. DPV					
2015	-0,194	-0,304	0,84	16	0,0035
2016	-0,180	-0,326	0,70	14	0,0068

T_m, temperatura media diaria; T_{Max}, temperatura máxima diaria; ET₀ evapotranspiración de referencia diaria, DPV, déficit de presión de vapor medio diario; r², coeficiente de determinación; n, número de muestras; ecm, error cuadrático medio

DPV fue la variable con menor ecm.

DPV fue capaz de responder

entre el 70 y el 84 % de la variabilidad de Ψ_t
entre el 65 y el 75 % de la variabilidad de MCD

Orden de dependencia de Ψ_t y MCD de las v. meteorológicas:

Ψ_t : DPV > T_{max} > T_m > ET₀

MCD: DPV > T_{max} > ET₀ > T_m

Mediciones - Indicadores de Estado Hídrico de la Planta

Continuo



MCD

Máxima Contracción Diaria de Rama

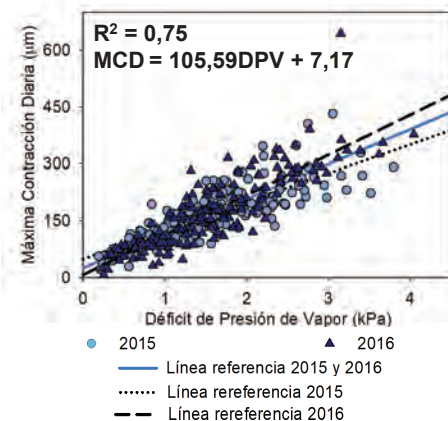
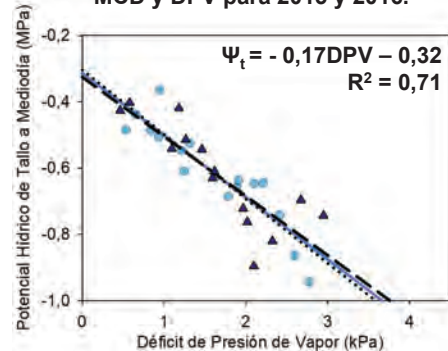
Referencia



Ψ_t

Potencial Hídrico de Tallo a Mediodía

Líneas de referencia entre Ψ_t y DPV y MCD y DPV para 2015 y 2016.



Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España y fondos FEADER (ref: AGL2013-49047-C2-1-R y AGL2016-77282-C3-3-R) y por la "Fundación Séneca" de la Región de Murcia bajo el programa de Grupos de Excelencia 19895/GERM/15. Los autores agradecen a Pedro y Agustín Carrión-Guardiola, propietarios de "Finca Toli" todas las facilidades puestas a nuestro alcance para el correcto desarrollo de los ensayos.

A-34-2020

RESPUESTA FISIOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE POMELOS CV. 'STAR RUBY' A LA SUPRESIÓN DEL RIEGO DURANTE EL CRECIMIENTO DEL FRUTO

Berrios, Pablo (1). Gil, Ismael (1). Temnani, Abdelmalek (1). Pérez, David (1). Forcén, Manuel (1). Zapata, Susana (1). Botía Ordaz, P. (3), Navarro Acosta, J.M. (3), Hernández Ballester F.M. (3), Arques Pardo, E.M. (3). Pérez-Pastor, Alejandro (2).

¹ Doctorando, Departamento de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Región de Murcia, España. pablo.berrios@edu.upct.es

² Catedrático, Departamento de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Región de Murcia, España. alex.perez-pastor@upct.es

³ Equipo de Riego y Fisiología del Estrés, Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA), La Alberca, Murcia), Región de Murcia, España.

Resumen

El aumento de la tensión por el uso de agua, la creciente escasez hídrica y la ocurrencia de eventos climáticos que destruyen infraestructura de riego en períodos críticos de los cultivos, hacen pertinente evaluar la sensibilidad de pomelo frente a diversos escenarios de disponibilidad hídrica, por ello se realizó un ensayo en una finca comercial de pomelos 'Star Ruby' en plena producción para evaluar el efecto de la supresión del riego durante el crecimiento del fruto sobre la producción, calidad y comportamiento post recolección. Los tratamientos aplicados fueron: (i) un control (CTL), regado para mantener los valores de potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallo}) a mediodía en torno a -1 MPa; dos tratamientos de estrés hídrico, en los que se regaron como CTL, excepto (ii) IS II, durante los días 82 y 127 días desde máxima floración (DDMF), correspondientes a la fase II de crecimiento del fruto, y (iii) IS III, durante los días 180 y 262 DDMF, correspondientes a la fase III de crecimiento del fruto, en los que se suprimió el riego hasta alcanzar un umbral de Ψ_{tallo} en torno a -2,5 MPa. La integral de estrés hídrico obtenida para cada tratamiento fue de 26.8 y 13.6 MPa día⁻¹ para IS II y III, respectivamente, no pudiéndose generar un similar nivel de estrés para ambos tratamientos. La supresión de riego permitió obtener un ahorro de agua de riego en torno al 20 % sin afectar negativamente a la producción ni a la calidad, exceptuando que los frutos del IS III presentaron una concentración de sólidos disueltos mayor, en torno a un 7%, y una tendencia de sus frutos a adquirir un color amarillo. El comportamiento post recolección fue similar entre tratamientos, aunque los frutos sometidos a supresión de riego durante fase II presentaron una ligera mayor firmeza a los 60 días después de la recolección.

"Abstract"

The increase of tension for the use water, water scarcity and the occurrence of climatic events that destroy irrigation infrastructure in critical periods of crops phenology, make it relevant to evaluate the sensitivity of grapefruit against various scenarios of water availability, so a trial was conducted in a commercial farm of grapefruit 'Star Ruby' in full production to assess the effect of irrigation suppression during the growth of the fruit on production, quality and post harvest behavior. The treatments applied were: (i) a control (CTL), irrigated to maintain midday stem water potential values (Ψ_{stem}) around -1 MPa; two water stress treatments, in which they were irrigated as CTL, except (ii) IS II, during the days 82 and 127 days from maximum flowering (DFMF), corresponding to phase II of fruit growth, and (iii) IS III,

during the days 180 and 262 DDMF, corresponding to phase III of fruit growth, in which irrigation was suppressed until reaching a threshold of Ψ_{stem} around -2.5 MPa. The integral of hydric stress obtained for each treatment was 26.8 and 13.6 MPa day⁻¹ for IS II and III, respectively, not being able to generate a similar level of stress for both treatments. Irrigation suppression allowed to obtain a saving of irrigation water around 20% without affecting negatively the production and quality, except that the fruits of IS III presented a higher concentration of dissolved solids, around 7%, and a tendency of its fruits to acquire a yellow color. Post-harvest behavior was similar between treatments, although fruits subjected to irrigation suppression during phase II showed a slightly higher firmness 60 days after harvest.

1- Introducción

El cultivo de pomelo (*Citrus paradisi* Macf) ha ido adquiriendo relevancia a lo largo de los últimos años en la Región de Murcia, con un incremento de la superficie cultivada del 35.9% entre los años 2012 y 2018 (~904 ha). Por otro lado, existen predicciones de un incremento de la escasez hídrica por efecto del cambio climático en diversas zonas productivas, provocando una creciente tensión por el agua entre la agricultura y otros sectores productivos. Asimismo, la ocurrencia de eventos climáticos como las DANAs por el acrónimo de “Depresión Aislada de Niveles Altos” que dan lugar a precipitaciones torrenciales y de difícil previsión (León, 2003) han causado diversas inundaciones, daños materiales y alertas en distintas áreas agrícolas. En concreto, durante el mes de septiembre de 2019 tuvo lugar este fenómeno climático en gran parte de la Región de Murcia, provocando rotura de importantes infraestructuras de riego de la región, impidiendo el suministro hídrico durante varias semanas a las zonas afectadas (Manuel Buitrago, 2019; P.B. / EFE, 2019) que coincidieron, en particular, con el período de crecimiento del fruto en cítricos. Por todo esto, y dado el escenario de reducida disponibilidad hídrica durante la temporada, se hace necesario evaluar la sensibilidad del cultivo frente a la supresión total del riego durante estados de desarrollo que no afecten la producción, calidad y comportamiento post recolección de la fruta.

2- Objetivos

Evaluar la respuesta agronómica y fisiológica de pomelo cv. Star Ruby frente a la supresión del riego durante las fases II y III de crecimiento del fruto, y su incidencia en la producción, calidad y comportamiento de la cosecha en post-recolección.

3- Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo durante 2019 en una finca comercial en plena producción, con pomelos (*Citrus paradisi* Macf) cv. 'Star Ruby', injertados sobre *Citrus macrophylla* ubicada en Campotéjar (Murcia, España). La plantación fue establecida en 2013 a un marco de plantación de 6 x 4 m. Las principales técnicas culturales, excepto el riego, se realizaron bajo el criterio del agricultor. El sistema de riego consistió de un lateral por hilera de árboles y 4 emisores de 4.0 L·h⁻¹ por árbol. La máxima floración tuvo lugar el 24 de abril de 2019.

Los tratamientos aplicados fueron: (i) un control (CTL), regado para mantener los valores de potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallo}) a mediodía en torno a -1 MPa (Conesa et al., 2018); dos tratamientos de estrés hídrico, en los que se regaron como CTL, excepto (ii) IS II, durante los días 82 y 127 días desde máxima floración (DDMF), correspondientes a la fase II de crecimiento del fruto, y (iii) IS III, durante los días 180 y 262 DDMF, correspondientes a la fase III de crecimiento del fruto, en los que se suprimió el riego hasta alcanzar un umbral de Ψ_{tallo} en torno a -2,2 MPa.

El contenido volumétrico de agua en el suelo (Θ_v) se midió con sensores FDR (ECH20 10HS, METER Group Inc., EE.UU.) y el potencial matricial con sensores del potencial dieléctrico del agua en el suelo (MPS-6, Decagon Devices Inc., EE.UU.), a partir de un sensor

por repetición para cada variable instalados a 0.4 m de profundidad y a 0.2 m de distancia del emisor ubicado bajo la canopia del árbol. Θ_v mínimo diario se relativizó respecto a la capacidad de campo (CC), que fue obtenida tras la estabilización de la humedad.

Ψ tallo se midió a mediodía solar con una cámara de presión tipo Scholander modelo Pump-Up (PMS Instrument Company, EE.UU.) en tres hojas adultas por repetición y sin daños aparentes y sombreadas. Las hojas fueron cubiertas mediante una bolsa con revestimiento de aluminio 1.5 h antes de la medida. La integral de estrés hídrico se determinó a partir de la ecuación 1.

$$(Ec. 1) \quad S_{\psi} = \left| \sum_{i=0}^{i=n} (\psi_{i,i+1} - \psi_{CTL}) n \right|,$$

Donde: S_{ψ} (MPa día⁻¹), integral de estrés hídrico; $\psi_{i,i+1}$ (MPa), potencial hídrico de tallo para cada intervalo $i, i+1$; ψ_{CTL} (MPa), potencial hídrico de tallo correspondiente al tratamiento CTL; y n , número de días entre dos medidas consecutivas.

La evapotranspiración de referencia (ET_o) y precipitaciones se obtuvieron a través de la estación Molina de Segura "Campotejar" perteneciente a la red del Sistema de Información Agrario de Murcia (SIAM, 2019).

El diámetro ecuatorial del fruto se midió con un calibre digital (Mitutoyo America Corporation, EE.UU.) en 75 frutos por repetición seleccionados al azar alrededor de la canopia.

La recolección de todos los frutos se realizó el día 10 de enero de 2020 (262 DDMF) a partir de un criterio comercial en todos los árboles testigo, en los que se determinó el rendimiento (Kg por árbol y t por ha), carga frutal (número de frutos por árbol) y peso medio del fruto. La eficiencia en el uso del agua de riego (EUAr, Kg m⁻³) se determinó como la relación entre la producción por árbol y el volumen de agua de riego utilizado. Paralelamente se escogieron al azar 5 frutos por repetición, en los que se realizó el estudio físico y químico. La proporción de zumo, pulpa y piel en base a peso; y el zumo se evaluó según la metodología descrita por (Kimball, 1991). El color de la epidermis se determinó con un fotocolorímetro por reflexión triestímulo (Minolta CR-300) y se expresaron como valores de CIE L*, a* y b* (Artés et al., 1997). Entre los parámetros químicos se incluyeron pH, sólidos solubles (SS), acidez del zumo por neutralización con NaOH 0.1N y el índice de madurez (IM) como la relación entre los sólidos solubles y la acidez (Artés et al., 1997).

Después de la recolección, se conservaron 50 frutos por repetición durante 55 días entre 8 y 10 °C de temperatura y entre 80 y 90 % de humedad relativa, y posteriormente durante 7 días, en condiciones ambientales. La temperatura y humedad relativa diaria se registraron mediante un termohigrómetro digital modelo LOG210 (Dostmann Electronics, Alemania). Se registró cada 15 días la evolución del peso fresco y firmeza (Kg cm⁻²), con un penetrometro modelo FT-20 (Wagner Instruments, Estados Unidos).

Se estableció un diseño experimental con 3 repeticiones por tratamiento distribuidas de forma aleatoria, con 3 árboles por repetición. Se realizó un análisis de varianza y cuando se detectaron diferencias entre tratamientos las medias se separaron mediante la prueba de comparaciones múltiples de Duncan a un 5% de significancia.

4- Resultados y Discusión

El volumen de agua de riego total utilizada para la temporada de estudio se redujo un 21.9 y 17.3 % para IS II y III, respectivamente (Figura 1). La demanda climática en los dos ciclos de estrés hídrico fue muy diferente, de esta manera, durante IS II la evapotranspiración de referencia (ET_o) osciló entre 5 y 7 mm por día, mientras que en IS III, estos valores fueron muy inferiores, oscilando entre 2 y 3 mm por día (Figura 1). Además, durante la semana 21 después de máxima floración y previo al inicio de IS III, ocurrieron precipitaciones acumuladas de 249.8 mm. Por estos motivos, el tratamiento IS II indujo un mayor estrés hídrico en la planta

que el correspondiente a IS III, de esta forma, la integral de estrés hídrico acumulada (S_{ψ}) durante el ciclo de cultivo correspondió a 26.8 y 13.6 MPa día⁻¹ para IS II y III, respectivamente.

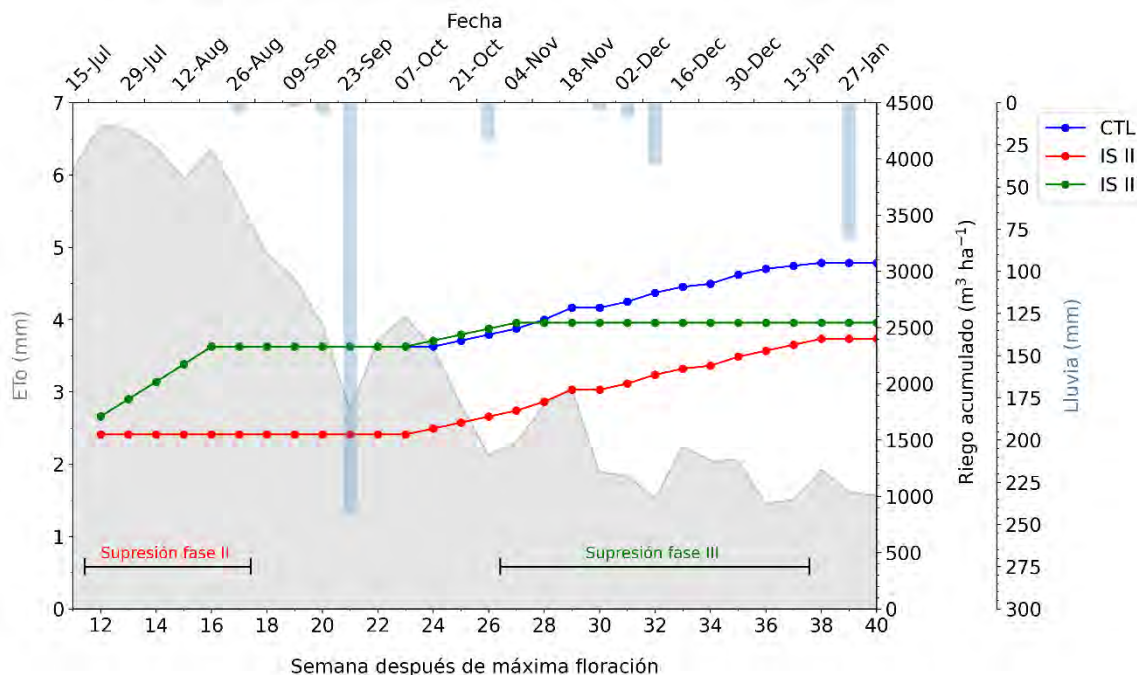


Figura 1. Parámetros climáticos durante los ciclos de supresión de riego y volumen de agua de riego acumulada.

No se detectaron diferencias en la carga frutal (número de frutos por árbol) entre tratamientos, aunque con cierta variabilidad en los valores promedios., siendo la media observada entre tratamientos de 832 frutos por árbol (Tabla 1).

El peso y diámetro ecuatorial del fruto no se vieron afectados por los ciclos de estrés hídrico y se obtuvieron valores medios entre tratamientos correspondientes a frutos de 338.2 g de peso con un diámetro ecuatorial de 93.71 mm (Tabla 1).

Dado que la carga frutal fue similar en las plantas evaluadas y no existió efecto de los tratamientos sobre las características físicas del fruto a recolección, no se detectaron diferencias significativas en el rendimiento. El tratamiento IS III presentó un rendimiento ligeramente superior pero a la vez una mayor carga frutal, aunque sin diferenciarse significativamente (Tabla 1).

Ambos tratamientos de supresión hídrica permitieron incrementar significativamente la eficiencia del uso del agua de riego (EUA_r) respecto al control y no se detectaron diferencias entre ellos, a pesar que la mayor EUA_r correspondió a IS II. Los ciclos de supresión permitieron incrementar la EUA_r un 29.5% (Tabla 1).

Tabla 1. Componentes del rendimiento y eficiencia del uso del agua de riego (EUA_r).

Tratamiento	Rendimiento		Peso fruto	Diámetro ecuatorial	Carga frutal	EUA _r				
	Kg árbol ⁻¹	t ha ⁻¹	g	mm	Frutos arbol ⁻¹	Kg m ⁻³				
CTL	274.11	a	114.2	a	332.02	a	826.8	a	37.1	b
IS II	281.10	a	117.1	a	356.99	a	95.55	a	782.8	a
IS III	288.66	a	120.2	a	325.61	a	92.78	a	886.8	a

Diferentes letras dentro de cada columna indican diferencias significativas según la prueba de Duncan ($p < 0.05$).

La diferencia de Ψ_{tallo} de IS II respecto al control fue significativamente menor durante la mayor parte del ciclo de estrés y se observó una máxima diferencia al alcanzar el umbral

preestablecido de riego (en torno a -2.2 MPa) correspondiente a 0.85 MPa en la semana 18 después de máxima floración. Si bien las diferencias de Ψ_{tallo} entre IS III y CTL durante el ciclo de estrés fueron significativas, éstas fueron muy inferiores a las de IS II y no superaron 0.2 MPa (Figura 2). El mínimo observado en IS III correspondió a -1 MPa durante la semana 33 después de máxima floración.

En ambos tratamientos, una vez que el potencial matricial del suelo fue significativamente menor que CTL, se observaron diferencias significativas en el Ψ_{tallo} , pero sólo se observó un incremento de la diferencia en el Ψ_{tallo} respecto al control en IS II una vez que el menor potencial matricial fue sostenido durante el ciclo; sin embargo, este efecto fue más amortiguado en IS III, tal y como ocurrió con los valores del contenido de agua en el suelo respecto a CC, en ambos ciclos, con un valor mínimo similar en ambos ciclos (0.65), pero más continuado en el tiempo en IS II (Figura 2).

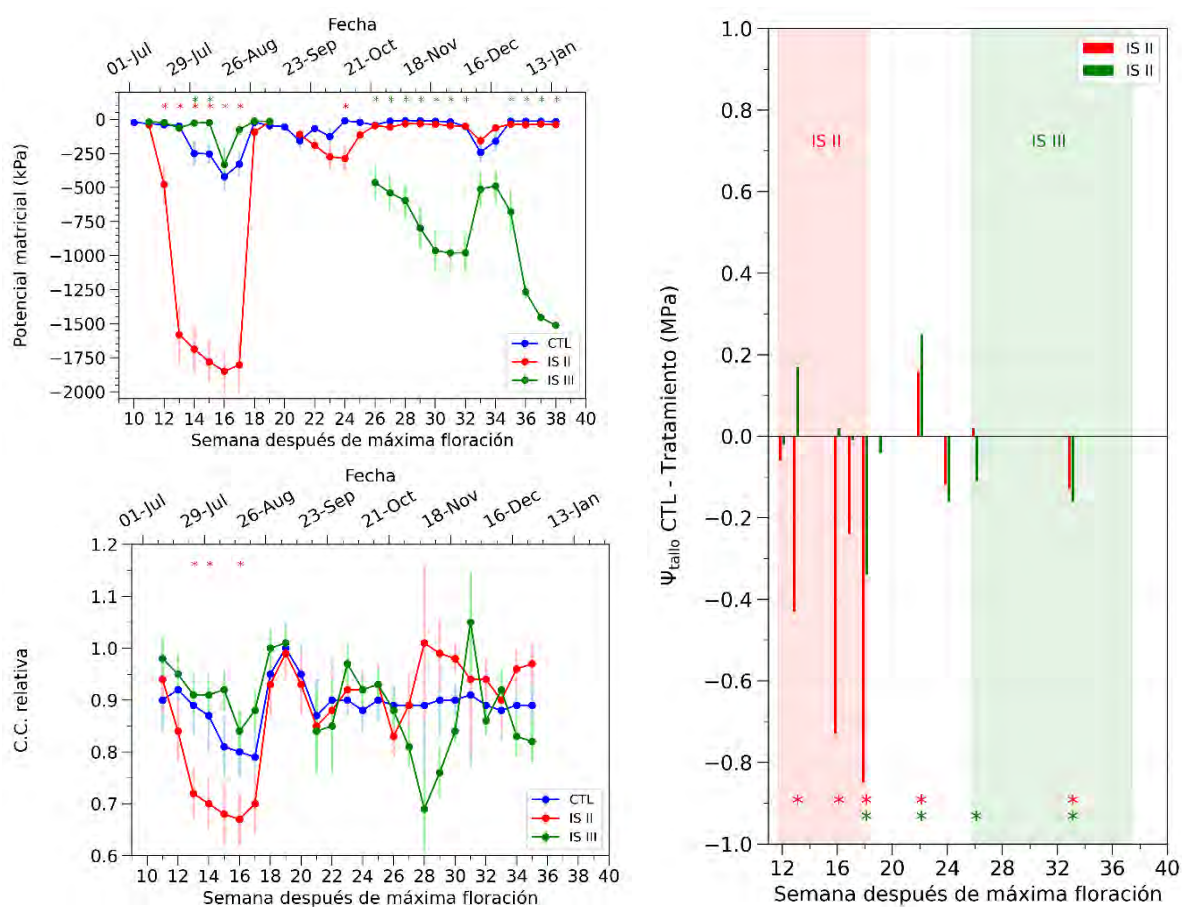


Figura 2. (A) Evolución del potencial matricial y (B) capacidad de campo relativa del suelo. (C) Diferencias observadas entre potencial de tallo de CTL y los tratamientos durante los ciclos de estrés hídrico. Medias \pm error estándar. * y * indican diferencias respecto a CTL para IS II y III, respectivamente en una misma fecha según la prueba de Duncan ($p < 0.05$).

Respecto a la calidad del fruto, el porcentaje de zumo y piel no se vieron afectados por la supresión del riego, pero la proporción de pulpa fue mayor en la supresión durante la fase II con respecto al control. El índice de madurez es adecuado para establecer un criterio sobre la madurez interna del fruto puesto que a medida que éste se acerca a la madurez, la acidez disminuye por el catabolismo del ácido cítrico y los sólidos solubles totales se incrementan (Navarro et al., 2015; Pérez-Pérez et al., 2009). No se observó un retraso sobre la maduración por los tratamientos de supresión hídrica, ni sobre la acidez titulable ni los azúcares totales por separado. En árboles de pomelo sometidos a estrés hídrico, (Navarro et al., 2015)

observaron que un estrés hídrico severo (100 MPa día^{-1}) durante la fase II retrasa la madurez interna debido al incremento de la acidez y disminución de azúcares, a diferencia de un estrés en la fase III que adelantó la maduración por una mayor contenido de azúcares. Esta tendencia se observó en el presente estudio pero la madurez no se vió afectada porque también la acidez en IS III fue superior, aunque no significativa. Cuando la intensidad del estrés hídrico fue inferior a 70 MPa día^{-1} , los autores (Navarro et al., 2015) no observaron efectos sobre la maduración, por lo que es esperable que la severidad del estrés aplicado en ISII respecto al CTL no tenga un efecto sobre IM, dado que la menor intensidad de estrés alcanzada (Figura 3).

Respecto a la madurez exterior del fruto, evaluada como color de la epidermis, IS III presentó frutos de mayor luminosidad y más cercanos al color amarillo (Tabla 2).

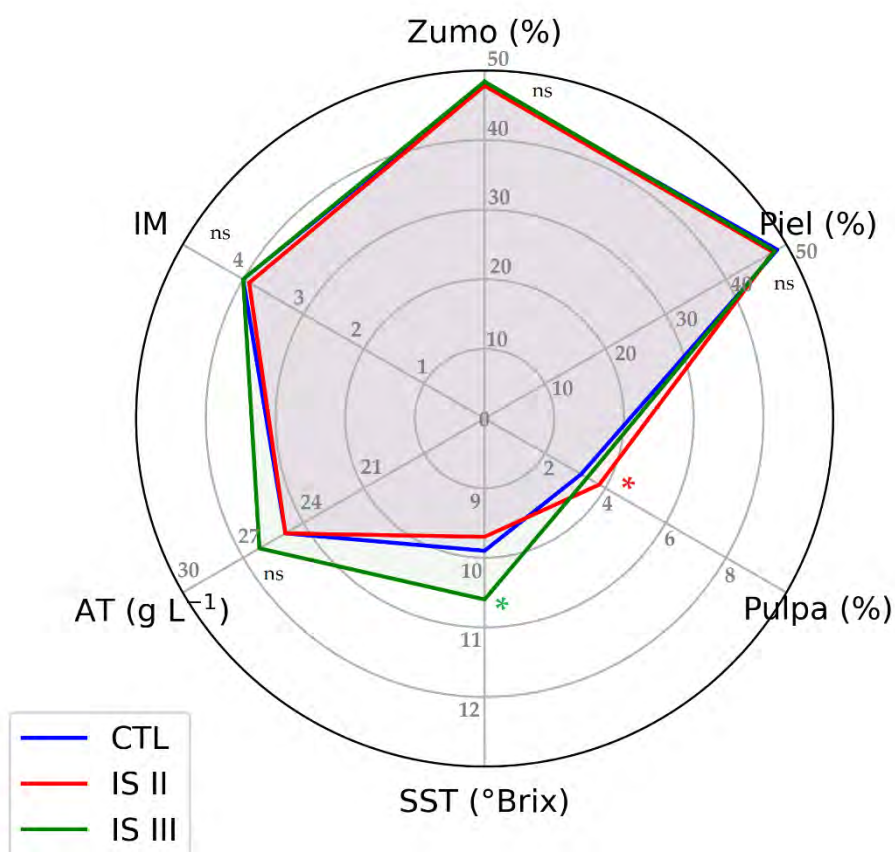


Figura 3. Componentes de la calidad de fruto durante recolección. SST: sólidos solubles totales; AT: acidez titulable e IM: índice de madurez. * y * indican diferencias respecto a CTL para IS II y III, respectivamente en una misma fecha según la prueba de Duncan ($p < 0.05$). ns: no significativo.

Tabla 2. Color de la epidermis a recolección.

Tratamiento	CIE					
	L	a	b			
CTL	64.3	a	12.0	a	30.2	a
IS II	65.0	a	11.5	a	30.3	a
IS III	66.6	b	11.4	a	31.7	b

CIE: espacio de color. Diferentes letras dentro de cada columna indican diferencias significativas según la prueba de Duncan ($p < 0.05$).

No se observaron diferencias entre tratamientos en la deshidratación del fruto almacenado. El peso del fruto disminuye una media de 15% los primeros 15 días después de recolección para mantenerse relativamente constante hasta que se elimina el tratamiento de frío a los 54 días después de recolección donde el peso se reduce alrededor de un 10% del final en frío. La firmeza ecuatorial del fruto se mantiene estable entre 30 y 40 días después de recolección y disminuye al terminar el proceso de frío, donde el tratamiento IS II presentó una firmeza significativamente mayor al resto de los tratamientos (Figura 4).

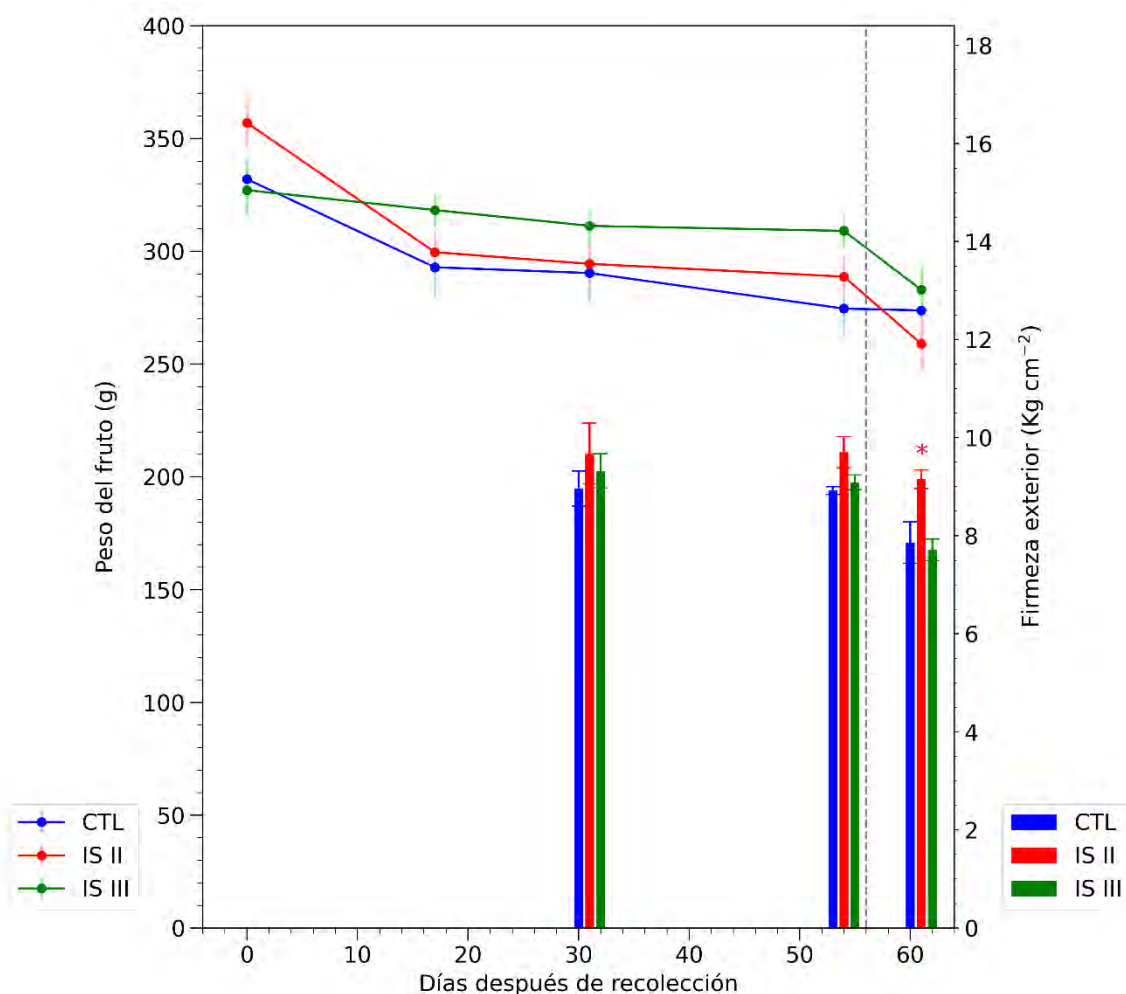


Figura 4. Evolución de la calidad post recolección del fruto. Las barras verticales y puntos indican el peso medio y la firmeza del fruto, respectivamente. La línea vertical punteada indica el fin del almacenaje en frío. * y * indican diferencias respecto a CTL para IS II y III, respectivamente en una misma fecha y parámetro según la prueba de Duncan ($p<0.05$).

4- Conclusiones y Recomendaciones

No se pudo generar el mismo nivel de estrés hídrico en ambos ciclos, debido a la variación en la demanda climática y las precipitaciones ocurridas en septiembre que retrasaron la aplicación del estrés hídrico en la fase III.

Los tratamientos de supresión permitieron ahorrar en torno a 20% el agua de riego utilizada durante la temporada.

La supresión del riego durante la fase II o III de crecimiento de fruto para las integrales de estrés obtenidas, no afectaron negativamente la producción y permitieron incrementar la eficiencia del uso del riego conjuntamente un 29.5%. Estos resultados debieran ser comprobados el próximo ciclo de cultivo para evaluar un posible efecto sobre la carga frutal

venidera. Con respecto a los indicadores, todos mostraron una elevada sensibilidad al estrés hídrico, si bien tanto el potencial hídrico de tallo como el matricial del agua en el suelo, fueron los que primero detectaron el inicio del estrés en IS II.

Los tratamientos no afectaron la fecha de recolección ni el índice de madurez de la fruta, aunque se observó que los frutos sometidos a una supresión de riego durante fase III presentaron un 7% más de sólidos solubles totales y una tendencia hacia el color amarillo.

El comportamiento post recolección fue similar entre tratamientos, aunque los frutos sometidos a supresión de riego durante fase II presentaron una ligera mayor firmeza a los 60 días después de la recolección.

5.- Agradecimientos

Esta investigación fue realizada en el marco del proyecto REUSAGUA del Plan Estratégico de la Región de Murcia 2014-2020 (IRIS 2020) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

6- Bibliografía

- Artés, F., Marín, J. G., Martínez, J. A., Tudela, J. A., & García-Lidón, A. (1997). Desverdización de nuevas variedades de limón y pomelo. *Phytoma*, 90, 130–135.
- Conesa, M., De la Rosa, J., Fernández-Trujillo, J., Domingo, R., & Pérez-Pastor, A. (2018). Deficit irrigation in commercial mandarin trees: water relations, yield and quality responses at harvest and after cold storage. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 16(3).
- Kimball, D. (1991). Brix and Soluble Solids BT - Citrus Processing: Quality Control and Technology. In D. Kimball (Ed.), *Citrus Processing* (pp. 7–33). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-3700-3_2
- Kimball, D., & Kimball, D. (1991). Acids in Citrus Juices. In *Citrus Processing* (pp. 34–54). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-3700-3_3
- León, F. M. (2003). *Las gotas frías/DANAs. Ideas y conceptos básicos*.
- Manuel Buitrago. (2019, September 13). Gota fría: La DANA rompe un canal del Trasvase y crea un enorme agujero | La Verdad. LA VERDAD. <https://www.laverdad.es/murcia/molina/dana-rompe-canal-20190912183706-nt.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>
- Navarro, J. M., Botía, P., & Pérez-Pérez, J. G. (2015). Influence of deficit irrigation timing on the fruit quality of grapefruit (*Citrus paradisi* Mac.). *Food Chemistry*, 175, 329–336. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2014.11.152>
- P.B. / EFE. (2019, September 19). Una DANA “sin precedentes” y con poca probabilidad de que se repita en un año - La Opinión de Murcia. *La Opinión de Murcia*. <https://www.laopiniondemurcia.es/comunidad/2019/09/20/dana-precedentes-probabilidad-repita-ano/1053681.html>
- Pérez-Pérez, J. G., Robles, J. M., & Botía, P. (2009). Influence of deficit irrigation in phase III of fruit growth on fruit quality in “lane late” sweet orange. *Agricultural Water Management*, 96(6), 969–974.
- SIAM. (2019). *SIAM - Sistema de Información Agraria de Murcia*. Estación Molina de Segura (Campotejar). <http://siam.imida.es/apex/f?p=101:1:2515579772808749::NO::>

RESPUESTA PRODUCTIVA DE UN CULTIVO DE SANDÍA EN INVERNADERO CON USO DE AGUA DESALADA FRENTE AL AGUA DE POZO.

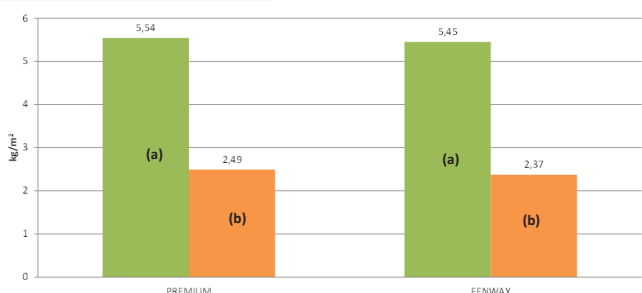
Marín Membrive, P.; Valera Martínez, D. L.; Reca Cardaña, J.; Moreno Teruel, M.A.; Peña Fernández, A.A.; Martínez López, J

CIAIMBITAL, Universidad de Almería. jreca@ual.es

OBJETIVO

Estudiar experimentalmente el efecto del riego con agua de mar desalada sobre la producción y la calidad del fruto de un cultivo de sandía de invernadero en comparación con el uso de agua subterránea de un pozo de la zona del "Campo de Níjar" (Almería)

RESULTADOS



	(a)	(b)	(a)	(a)	(a)	(a)
	Peso T0	Peso T1	°Brix T0	°Brix T1	Firmeza T0	Firmeza T1
Promedio	6,76	5,12	12,03	11,68	0,93	0,87
Desviación Estándar	1,00	1,25	0,70	0,71	0,17	0,10
Coefficiente de Variación	14,85%	24,52%	5,80%	6,08%	17,79%	10,94%
Mínimo	5,11	2,97	10,20	10,30	0,64	0,71
Máximo	9,12	6,70	13,00	12,90	1,19	1,07
Rango	4,01	3,73	2,80	2,60	0,55	0,36
Sesgo Estandarizado	0,85	-0,82	-1,92	-0,69	0,03	0,51
Curtosis Estandarizada	0,20	-1,14	1,84	0,38	-0,60	0,03

Se encontraron diferencias significativas en la producción, peso, y tamaño del fruto a favor tratamiento T0. En cuanto a parámetros de calidad (°Brix, firmeza), no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

MATERIAL Y MÉTODOS

AGUAS DE RIEGO

T0: AGUA DESALADA

CE: 0,6 dS/m

T1: POZO "Los Grillos"

CE: 7.45 dS/m

INVERNADERO EXPERIMENTAL TIPO "ALMERÍA" (U-8)

BALSA AGUA DESALINIZADA



CICLO: Primavera-Verano
RIEGO: 0.85 mm día⁻¹ 1 riego (1/2 h)

SANDÍA TRIPLOIDE FENWAY
POLINIZADOR: SANDÍA PREMIUM
PATRÓN RS841
Marco: 1 x 4 al tresbolillo

PRODUCCIÓN: Rendimiento (kg·m⁻²), Nº Frutos·m⁻², Peso medio frutos (kg), Perímetros.
CALIDAD: Sólidos solubles (°Brix), Dureza (kg·cm⁻²), Tamaño cicatriz pistilar, Espesor corteza, color pulpa y presencia anomalías

CONCLUSIONES

- El uso del agua desalada proporcionó un incremento significativo (65%) de la producción de sandía respecto al tratamiento regado con agua de pozo. Por el contrario, no se observó un efecto significativo sobre los parámetros de calidad del fruto.
- El uso del agua desalada puede resultar económicamente rentable ya que el aumento de producción compensa el mayor coste del agua desalada para el riego de la sandía.
- La aplicación de agua desalada contribuye a la sostenibilidad de los cultivos en invernadero y permite contrarrestar la sobreexplotación de los acuíferos y su alarmante salinización.

A-39-2020

RESPUESTA AGRONÓMICA DEL MANDARINO CV. 'CLEMENVILLA' A LA SUPRESIÓN DEL RIEGO DURANTE EL CRECIMIENTO DEL FRUTO

Temnani, Abdelmalek (1). Berríos, Pablo (1). Pérez, David (1). Gil, Ismael (1). Forcén, Manuel (1). Zapata, Susana (1). Pérez-Pastor, Alejandro (2).

¹ Doctorando, Departamento de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Región de Murcia, España. abdelmalek.temnani@edu.upct.es

² Catedrático, Departamento de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Región de Murcia, España. alex.perez-pastor@upct.es

Resumen

La superficie cultivada de mandarino (*Citrus reticulata*) representa un 37% de la superficie total de los cítricos en España, que actualmente se cifra en 110.000 ha. La sostenibilidad de la producción de cítricos, en particular, y de la agricultura, en general, se enfrenta a dos desafíos importantes: (i) la fuerte variabilidad en los precios en origen y (ii) el incremento de la escasez de agua. El objetivo principal del trabajo fue evaluar la respuesta agronómica de mandarina 'Clemenvilla' a la supresión del riego durante cada una de las fases de crecimiento del fruto, y determinar su sensibilidad al estrés hídrico, de cara a la aplicación de estrategias de riego deficitario controlado. Se establecieron 4 tratamientos de riego: un control (CTL) regado al 120% de la ET_c durante todo el ciclo del cultivo y 3 tratamientos de supresión del riego, aplicados durante el final de la fase I e inicio de la II (IS-I), la primera mitad de la fase II (IS-II) y la fase III del crecimiento del fruto (IS-III), comprendidas entre 51 a 100, 76 a 105 y 169 a 240 días después de máxima floración (DDMF), respectivamente. Los ciclos de supresión del riego durante las fase inicial y tardía del fruto permitieron reducir el aporte de agua de riego al 50%, alcanzando una integral de estrés hídrico en torno a 45 MPa día⁻¹, sin afectar a la producción ni a la calidad física del fruto; y en el caso de la supresión durante la fase III de crecimiento del fruto permitió incrementar significativamente la productividad del agua de riego.

“Abstract”

The area cultivated with mandarin (*Citrus reticulata*) represents 37% of the total of *Citrus* in Spain, which is currently 110,000 ha. The sustainability of citrus production in particular and of agriculture in general is confronted with two major challenges: (i) the strong variability in prices at origin and (ii) the increase of water scarcity. The main objective of the study was to evaluate the agronomic response of 'Clemenvilla' mandarin to irrigation suppression during each of the fruit growth phases, and to determine its sensitivity to water stress, in view of the application of controlled deficit irrigation strategies. Four irrigation treatments were established: a control (CTL) irrigated at 120% of ET_c during the whole crop cycle and 3 treatments of irrigation suppression, applied during the end of phase I and beginning of phase II (IS-I), the first half of phase II (IS-II) and phase III of fruit growth (IS-III), ranging from 51 to 100, 76 to 105 and 169 to 240 days after maximum flowering (DAMF), respectively. The irrigation suppression cycles during the initial and late fruit phase allowed reducing the irrigation water use to 50%, reaching an integral of water stress around 45 MPa day⁻¹, without affecting the production or the fruit physical quality; and in the case of suppression during the phase III of fruit growth allowed increasing significantly the irrigation water productivity.

1- Introducción

La superficie cultivada de mandarino (*Citrus reticulata*) abarca una superficie de 110.000 ha, lo que representa un 37% de la superficie total de los cítricos en España (*Anuario Estadístico de España*, 2019). La sostenibilidad de la producción de cítricos, en particular, y de la agricultura, en general, se enfrenta a dos desafíos importantes: (i) la fuerte variabilidad en los precios obtenidos en origen y (ii) el incremento de la escasez de agua, dado que las predicciones climáticas señalan que el déficit de agua para riego y la ocurrencia de eventos climáticos adversos, tales como precipitaciones torrenciales durante el otoño e invierno se incrementarán debido al efecto del cambio climático, lo que podría afectar el crecimiento y desarrollo del fruto por daños directos sobre éste o sobre la infraestructura de riego. Esta realidad hace necesario evaluar el efecto de estrategias de riego que permitan incrementar la resiliencia de los cultivos frente a estos cambios, es decir, aumentar la eficiencia del uso del agua de riego y, a su vez, la competitividad del sector, al reducir, por ejemplo, el coste energético. El riego deficitario controlado (RDC) es una estrategia de riego basada en la reducción del aporte hídrico por debajo de las necesidades hídricas del cultivo, durante aquellos períodos fenológicos, denominados no críticos, en los que esta reducción no afectaría ni a la producción ni a la calidad de la cosecha. Por estos motivos, se hace necesario delimitar tanto la duración como la intensidad del déficit hídrico aplicado a través de la evaluación de la sensibilidad al estrés hídrico de cada una de las fases de crecimiento del fruto.

2- Objetivos

Evaluar la respuesta agronómica de mandarina 'Clemenvilla' a la supresión del riego durante las fases de crecimiento del fruto, y determinar su sensibilidad al mismo, para incrementar la eficiencia del uso del agua de riego.

3- Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en mandarinas 'Clemenvilla' durante el ciclo 2019-20 en una finca comercial ubicada en la Región de Murcia, España. Las árboles se re-injertaron en 2015 sobre *Citrus × reshni* que había sido establecido el año 2000 sobre un marco de plantación de 6 x 4 m. El programa de fertilización, control de malas hierbas, plagas y enfermedades se realizó según el criterio del agricultor. El sistema de riego consistió de una lateral por hilera de árboles con 4 emisores por árbol, de un caudal de 4.0 L·h⁻¹.

Se establecieron 4 tratamientos de riego: un control (CTL) regado al 120% de la ETc durante todo el ciclo del cultivo y 3 tratamientos de supresión del riego, aplicados durante el final de la fase I e inicio de la II (IS-I), la primera mitad de la fase II (IS-II) y la fase III del crecimiento del fruto (IS-III), comprendidas entre 51 a 100, 76 a 105 y 169 a 240 días después de máxima floración (DDMF), respectivamente (Figura 1). En los tratamientos de supresión se restituyó el riego una vez que se alcanzó el valor umbral de ~ -2,0 MPa de potencial hídrico de tallo a mediodía solar (Ψ_{tallo}), considerado un estrés hídrico severo en cítricos (Conesa et al., 2014) o una integral de estrés hídrico alrededor de 45 MPa día⁻¹.

AÑO 2019/2020

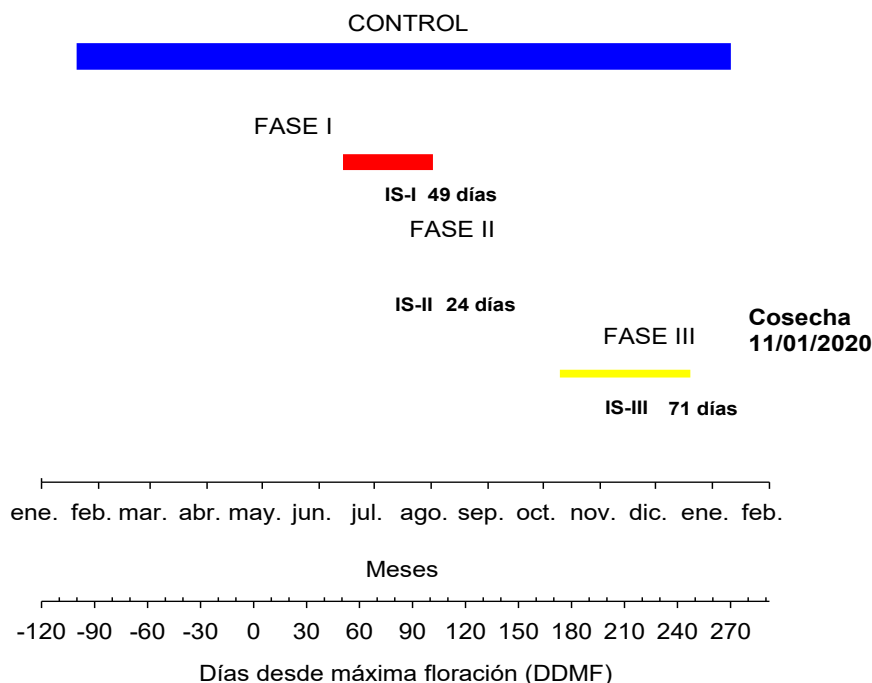


Figura 1. Tratamientos de riego. Control (barra azul) y períodos de supresión total del riego (IS-1: rojo, IS-II: verde e IS-III: amarillo). Las barras horizontales de color gris indican la fase de crecimiento del fruto.

Se realizó un seguimiento a la evolución semanal de Ψ_{tallo} durante mediodía solar con una cámara de presión tipo Scholander modelo Pump-Up (PMS Instrument Company, EE.UU.) en nueve hojas adultas sombreadas por tratamiento. Las hojas fueron cubiertas con una bolsa aluminizada 1.5 h antes de la medida. La integral de estrés hídrico de cada tratamiento de supresión del riego se determinó a partir de la ecuación 1 (BJ, 1988).

$$(Ec. 1) \quad S_{\psi} = \left| \sum_{i=0}^{i=n} (\psi_{i,i+1} - \psi_{CTL}) n \right|,$$

Donde: S_{ψ} (MPa día⁻¹), integral de estrés hídrico; $\psi_{i,i+1}$ (MPa), potencial hídrico de tallo para cada intervalo $i, i+1$; ψ_{CTL} (MPa), potencial hídrico de tallo correspondiente al tratamiento CTL; y n , número de días entre dos medidas consecutivas.

Para el cálculo del área de sección transversal de rama (ASTR) se instaló un dendrómetro perimetral de banda de acero (modelo DB20) por repetición, en la base de una rama principal. El ASTR se determinó a partir de la ecuación 2.

$$(Ec. 2) \quad ASTR (cm^2) = \pi \left(\frac{\text{Perímetro (cm)}}{2\pi} \right)^2$$

La recolección se realizó en todos los árboles evaluados el día 11 de enero de 2020 (262 DDMF) y la producción se determinó como el peso de los frutos comercializables recolectados por árbol y la carga frutal como el número total de frutos. Asimismo, se caracterizó el fruto según su peso medio y diámetro ecuatorial.

La eficiencia en el uso del agua de riego (EUA_r, Kg m⁻³) se determinó como la relación entre la producción por árbol y el volumen de agua de riego utilizado.

Para evaluar la calidad de los frutos, se recolectaron 15 frutos por repetición a los que se les determinó el porcentaje de corteza, pulpa y zumo, y la firmeza exterior. El zumo extraído fue evaluado en base a lo indicado por (Artés et al., 1997), determinándose el pH, sólidos

solubles (SS), acidez por neutralización con NaOH 0.1N y el índice de madurez (IM) como la relación entre los sólidos solubles y la acidez.

La evapotranspiración de referencia (ET_o) y precipitaciones se obtuvieron a través de la estación MU52 “Cabezo de Plata” perteneciente a la red del Sistema de Información Agrario de Murcia (SIAM, 2019).

Se estableció un diseño experimental con 3 repeticiones por tratamiento distribuidas de forma aleatoria, con 3 árboles por repetición. Se realizó un análisis de varianza y cuando se detectaron diferencias entre tratamientos las medias se separaron mediante la prueba de comparaciones múltiples de Duncan a un 5% de significancia.

4- Resultados y Discusión

Durante el período de estudio la ET_o acumulada fue de 1377.8 mm y para los ciclos de supresión de riego correspondió a una media de 6.54, 6.56 y 2.21 mm día⁻¹ para IS-I, II y III; respectivamente. El volumen de riego total aplicado en CTL fue de 5474 m³ por ha y los tratamientos de supresión hídrica permitieron reducir el riego aplicado un 56.7, 55.7 y 52.3 %, para IS-I, II y III, respectivamente.

La intensidad del estrés hídrico aplicado expresada como S_ψ fue ligeramente superior en IS-II (49.9 MPa·día⁻¹) y para los tratamientos IS I y III correspondió a 45.2 y 40.7 MPa·día⁻¹, respectivamente. A pesar de que la demanda climática fue similar durante IS-I e IS-II y la duración del ciclo de supresión de riego durante la fase I fue superior a la fase II, en este último la integral de estrés fue superior puesto que el mínimo Ψ_{tallo} alcanzado en IS-I fue de -1.6 MPa, en contraste a IS-II cuyo mínimo correspondió a -2.1 MPa y fue alcanzado a un menor tiempo después de iniciada la supresión. Asimismo, la tasa de recuperación de Ψ_{tallo} fue superior en IS-I. La menor S_ψ alcanzada en IS-III fue dada por la ocurrencia de precipitaciones durante el ciclo de supresión de riego y la menor demanda climática.

Si bien un estrés hídrico severo puede disminuir el crecimiento del tronco o ramas principales (Egea et al., 2009; García-Tejero et al., 2011; E. Pagán et al., 2012) durante el ensayo no se detectaron diferencias entre tratamientos para el incremento del ASTR entre máxima floración y cosecha, aunque CTL mostró un valor promedio superior. La media de incremento correspondió a 0.43 cm² de ASTR.

Los diferentes parámetros productivos obtenidos no se vieron afectados por efecto de los tratamientos de riego, aunque se observó una cierta variabilidad entre ellos (Tabla 1). Asimismo, tanto el peso como el diámetro del fruto se vieron alterados. Numerosos autores han referenciado la ralentización del crecimiento del fruto ante un estrés hídrico; en este sentido, Pagán et al., (2012) encontraron un descenso significativo en su tamaño final tras someter al mandarino cv. Fortune a un déficit hídrico aplicado durante la fase I y mitad de la II, hasta la ralentización del crecimiento del tronco, que ocasionó una integral de estrés hídrico (S_ψ) de 115 MPa día⁻¹, mientras que un valor de 55 MPa día⁻¹ no implicó reducción alguna. Por ello, en el diseño de estrategias de riego deficitario controlado, no sólo se hace necesario delimitar los períodos no críticos sino también el nivel de estrés hídrico a aplicar. Además, la duración de las restricciones de agua impuestas es determinante en las respuestas de las plantas al RDC (Ginestar & Castel, 1996).

Así pues, estos resultados se corresponden con otros estudios en los que implementaron una integral de estrés mayor durante la fase II y obtuvieron diferencias no significativas sobre el diámetro ecuatorial de fruto (Dell’Amico Rodríguez et al., 2012). Numerosos estudios muestran la respuesta productiva tras un tratamiento de riego deficitario controlado durante los meses de verano (fase II del crecimiento de fruto), en los que se muestran ahorros de agua en torno a un 15-20 % respecto del control y en los que la producción y la calidad no se vieron afectados (González-Altozano & Castel, 1999; Elisa Pagán et al., 2012).

Los tratamientos IS-I, II y III permitieron incrementar la eficiencia del uso del agua de riego respecto al control (Tabla 2), con una EUAr muy alta si lo comparamos con otros estudios en los que aplicaron riego deficitario controlado (González-Altozano & Castel, 1999; Elisa Pagán et al., 2012).

Respecto a la calidad de los frutos recolectados, el tratamiento IS-II permitió incrementar significativamente la proporción de pulpa y zumo, por lo tanto, disminuir el peso de la epidermis. Este incremento corresponde a un 5.5 % más de rendimiento de pulpa y zumo. No se detectaron diferencias significativas sobre el índice de madurez del fruto entre los ciclos de supresión hídrica respecto a CTL, pero sí entre IS-I e IS-III; esta diferencia viene dada por una menor cantidad de SST obtenidos en IS-III. La supresión en las fases iniciales de crecimiento del fruto (IS-I y II) incrementaron los SST. El pH del zumo no se vio afectado por ningún tratamiento. Los tratamientos no afectaron significativamente a la firmeza exterior del fruto respecto a CTL, pero sí se detectaron diferencias entre IS I y III (Tabla 2).

Tabla 1. Componentes de rendimiento, productividad y eficiencia del uso del agua de riego. PF: peso del fruto. DEF: diámetro ecuatorial del fruto. CF: carga frutal. ASTR: área sección transversal de rama. EUAr: eficiencia del uso de agua de riego.

Tratamiento	Rendimiento				Peso fruto		Diámetro ecuatorial		Carga frutal		EUAr	
	Kg árbol ⁻¹		t ha ⁻¹		g		mm		Frutos arbol ⁻¹		Kg m ⁻³	
CTL	107.5	a	48.3	a	75.94	a	62.79	a	1388	a	8.19	b
IS I	97.4	a	45.0	a	71.16	a	62.05	a	1342	a	13.07	ab
IS II	109.3	a	43.3	a	67.10	a	59.94	a	1667	a	14.93	ab
IS III	123.3	a	45.7	a	71.84	a	61.22	a	1832	a	17.94	a

Tabla 2. Parámetros de calidad del fruto. SST: sólidos solubles totales. AT: acidez titulable. IM: índice de madurez. Diferentes letras dentro de cada columna indican diferencias significativas según la prueba de Duncan ($p < 0.05$).

Tratamiento	Pulpa + zumo		Piel		IM		SST		AT		pH		Firmeza exterior	
	%		%				°Brix		g L ⁻¹				Kg cm ⁻²	
CTL	59.4	b	40.6	a	15.5	ab	12.3	b	7.9	b	3.2	a	6.2	ab
IS I	60.1	b	39.9	a	16.6	a	13.7	a	8.3	ab	3.3	a	6.6	a
IS II	64.9	a	35.1	b	15.3	ab	13.9	a	9.1	a	3.2	a	6.3	ab
IS III	60.2	b	39.8	a	14.6	b	12.3	b	8.4	ab	3.2	a	5.2	b

5. Conclusiones

Los ciclos de estrés hídrico aplicados durante cada una de las fases de crecimiento del fruto de mandarina 'Clemenvilla' supusieron una integral de estrés hídrico inferior a 50 MPa día⁻¹. A estos niveles de estrés no se vio afectado ni el rendimiento ni las características físicas del fruto e incluso la supresión de riego permitió incrementar significativamente la eficiencia del uso del agua de riego, aunque todos los tratamientos permitieron ahorrar alrededor de un 50% del volumen de agua utilizado durante el ciclo de cultivo.

No se vieron afectadas ni la maduración del fruto ni la firmeza exterior respecto al control en ninguno de los tratamientos, pero la supresión de riego durante la fase II de crecimiento del fruto permitió incrementar la proporción de zumo + piel y los sólidos solubles sin afectar el índice de madurez.

Estos resultados deben validarse, al menos, durante un segundo ciclo de crecimiento, comprobando el efecto del estrés hídrico aplicado durante la segunda mitad de la fase II del crecimiento del fruto, incluso estudiar su efecto ante distinta carga frutal, dada la vecería característica de este cultivar.

6-Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por dos proyectos, uno en el marco del proyecto europeo DIVERFARMING (H2020-RUR-06-2016) a través del Programa Marco Horizonte

2020 de la Unión Europea para investigación e innovación y por el Swiss State Secretariat for Education, Research and Innovation, y otro por la convocatoria de ayudas a Acciones Programación Conjunta Internacional 2017 contempladas en el Programa Estatal de I+D+I orientada a los retos de la sociedad por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad - Agencia Estatal de Investigación (AEI). Referencia: PCIN-2017-091.

7-Bibliografía

- Anuario Estadístico de España*. (2019). www.ine.es/infoine
- Artés, F., Marín, J. G., Martínez, J. A., Tudela, J. A., & García-Lidón, A. (1997). Desverdización de nuevas variedades de limón y pomelo. *Phytoma*, 90, 130–135.
- BJ, M. (1988). Water Stress Integral-A Link Between Short-Term Stress and Long-Term Growth. *Tree Physiology*, 4(4). <https://doi.org/10.1093/TREEPHYS/4.4.315>
- Conesa, M. R., García-Salinas, M. D., de la Rosa, J. M., Fernández-Trujillo, J. P., Domingo, R., & Pérez-Pastor, A. (2014). Effects of deficit irrigation applied during fruit growth period of late mandarin trees on harvest quality, cold storage and subsequent shelf-life. *Scientia Horticulturae*, 165, 344–351. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2013.11.023>
- Dell'Amico Rodríguez, J. M., Domingo, R., & Pérez-Pastor, A. (2012). Efecto del estrés hídrico en el desarrollo final del fruto de mandarina 'Fortune.' *Cultivos Tropicales*, 33, 63–68.
- Egea, G., Pagán, E., Baille, A., Domingo, R., Nortes, P. A., & Pérez-Pastor, A. (2009). Usefulness of establishing trunk diameter based reference lines for irrigation scheduling in almond trees. *Irrigation Science*, 27(6), 431–441. <https://doi.org/10.1007/s00271-009-0157-0>
- García-Tejero, I. F., Durán-Zuazo, V. H., Muriel-Fernández, J. L., & Jiménez-Bocanegra, J. A. (2011). Linking canopy temperature and trunk diameter fluctuations with other physiological water status tools for water stress management in citrus orchards. *Functional Plant Biology*, 38(2), 106–117. <https://doi.org/10.1071/FP10202>
- Ginestar, C., & Castel, J. R. (1996). Responses of young clementine citrus trees to water stress during different phenological periods. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 71(4), 551–559. <https://doi.org/10.1080/14620316.1996.11515435>
- González-Altozano, P., & Castel, J. R. (1999). Regulated deficit irrigation in "Clementina de Nules" citrus trees. I. Yield and fruit quality effects. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74(6), 706–713. <https://doi.org/10.1080/14620316.1999.11511177>
- Pagán, E., Pérez-Pastor, A., Domingo, R., Conesa, M. R., & Caro, M. (2012). Suitability of trunk diameter reference lines for irrigation scheduling with saline water in late mandarin trees with different crop load. *Agricultural Water Management*, 111, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.04.008>
- Pagán, Elisa, Pérez-Pastor, A., & Domingo, R. (2012). *Uso de Indicadores del Estado Hídrico de la Planta para la Optimización del Riego en Cultivos Leñosos*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- SIAM. (2019). *Informe Agrometeorológico Personalizado*. <http://siam.imida.es/apex/f?p=101:46:1013612728957675:::>

AGUA Y RIEGO ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN

GOÑI LABAT M.

Técnica del Área de Proyectos I + D. INTIA. Avenida Serapio Huici. 22, 31610 Villava (Navarra) mgoni@intiasa.es

INTRODUCCIÓN

La evaluación y desarrollo de opciones de adaptación y mitigación del cambio climático, se han abordado en este trabajo, mediante la realización de ensayos de riego con diferentes estrategias y herramientas, durante las campañas 2018 y 2019 (proyecto LIFE-IP NAdapta-CC).

Tabla 1. Ensayo de aspersores de baja presión en maíz campaña 2018

Nº Tratamiento	Tipo aspersor	Boquilla (mm)	Presión media (bar)	Pluviometría (l/m ² h)
1	convencional	4.4 y 2.4	3.5	6.6
2	baja presión marca 1	4.5 y 2.5	2.0	5.1
3	baja presión marca 1	4.5 y 2.5	2.5	5.6
4	baja presión marca 2	4.4 y 2.4	2.5	5.0
5	baja presión marca 2	4.4 y 2.4	2.5	5.7
6	convencional	4.4 y 2.4	3.5	6.6
7	convencional	4.4 y 2.4	3.5	6.6

MATERIALES Y MÉTODOS

Campaña 2018: Reducción del gasto energético. Se realizaron 4 ensayos de riego en maíz con aspersores a baja presión (18 x 15 T).

Las dosis de riego aportadas fueron iguales en todos los tratamientos, y se calcularon a través de la herramienta HAD riego de la plataforma AGROasesor (6.716 m³/ha). El tiempo de riego se ajustó a la diferente pluviometría.

Campaña 2019: Mejorar la eficiencia en el uso del agua mediante la evaluación de riego deficitario controlado (RDC) en maíz y riego deficitario sostenido (RDS) en brócoli. La dosis de riego de referencia se calculó con la herramienta HAD riego (AGROasesor) y la frecuencia de riego de referencia se ajustó a reponer el nivel de capacidad de campo del suelo.

➤Ensayos de maíz: comparación en riego por aspersión, de diferentes dosis de riego con diferentes presiones de trabajo de aspersor (18 x 15T). RDC se aplicó en las fases desde nascencia a 8-10 hojas y desde estado grano pastoso a madurez fisiológica. La dosis de la HAD riego de referencia fue de 4800 m³/ha. PC-3.5* es la dosis de referencia en la zona.

➤Ensayos de brócoli: comparación en riego por goteo, de diferentes dosis de riego deficitario sostenido

Tabla 2. Ensayos de RDC y RDS en maíz y brócoli campaña 2019

Cultivo	Tipo aspersor / Presión media (bar)	Dosis (m ³ /ha)
MAIZ ASPERSION RDC	BP-2.5	3300
	BP-2.5	3900
	BP-2.5	4800
	PC-3.5	4800
	PC-3.5	3900
	PC-3.5	3300
	PC-3.5 *	5220
Cultivo	Pluviometría (l/m ² h)	Dosis (m ³ /ha)
BRÓCOLI	3.12	2165
GOTEO	3.12	1698
RDS	3.12	1274

MATERIALES Y MÉTODOS

Parámetros y herramientas empleados durante los ensayos:

- Humedad de Suelo. Sensores capacitivos FDR
- Herramienta de riego (balance hídrico en tiempo real- AGROasesor)
- Desarrollo vegetativo. Imágenes mediante plataforma DRON (maíz)
- Cosecha diferenciada por sector. Test ANOVA

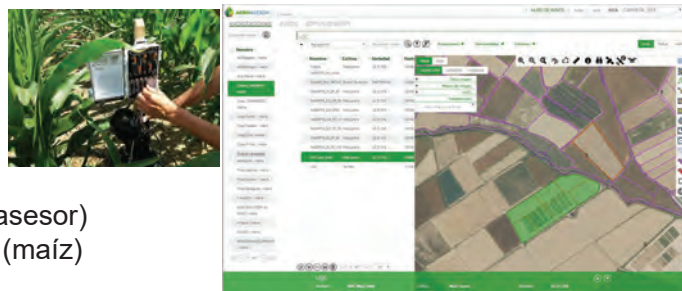


Imagen 1. Herramientas utilizadas en los ensayos

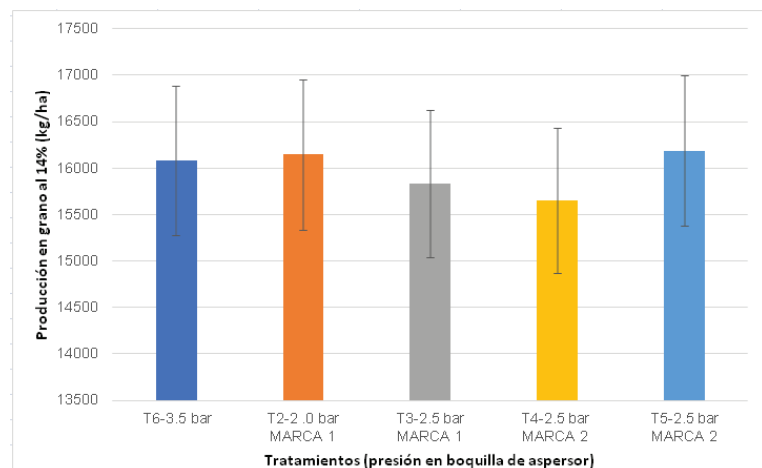


Imagen 2. Valores promedio de cosecha de maíz para los 5 tratamientos (campaña 2018)

Campaña 2019

En los ensayos de maíz no se obtuvieron diferencias significativas, entre los rendimientos obtenidos con la dosis de riego habitual, y la obtenida con la HAD riego. Esto permitiría un ahorro de un 8% de la dosis aportada. Para el resto de tratamientos las diferencias fueron significativas. La variable presión no influyó en los resultados. El nivel de significancia del análisis entre tratamientos es 0.05.

En los ensayos de Riego Deficitario Sostenido (RDS) en brócoli, las diferencias de los rendimientos no fueron significativas entre los tratamientos ($\alpha=0.05$)

Tabla 3- Resultados de cosecha de los ensayos de maíz y brócoli (campaña 2019)

MAIZ		BROCOLI	
PRESION/RDC	RENDIMIENTO (kg/ha)	RDS	RENDIMIENTO (kg/ha)
Aspersor 2.5/70%	10.564	100%	23.020
Aspersor 2.5/80%	11.623	77%	22.020
Aspersor 2.5/100%	13.838	62%	23.300
Aspersor 3.5/100%	13.987		
Aspersor 3.5/80%	12.555		
Aspersor 3.5/70%	10.096		
Aspersor 3.5*/108%	14.000		

CONCLUSIONES

- Los **aspersores de baja presión** se presentan como una alternativa en cultivos de porte alto.
- La teledetección, el uso de **herramientas de riego** con balances hídricos en **tiempo real** y el seguimiento de humedad de suelo, son de importancia crucial para llevar a cabo estrategias de ahorro de agua y **adaptación al cambio climático**.
- En maíz con un RDC del 80% de las dosis, la producción final se vio disminuida. El aumento de un 8% de la dosis de referencia, no se tradujo en aumento de producción. En brócoli, RDS de hasta 62% de la dosis de referencia, permitieron una reducción del valor de consumo específico de agua de hasta 44 m³/t.

A-40-2020

AGUA Y RIEGO ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO. ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN

Goñi Labat M. (1)

¹ Técnica del Área de Proyectos I + D. INTIA. Avenida Serapio Huici. 22, 31610 Villava (Navarra) mgoni@intiasa.es

1) Introducción

La agricultura de regadío requiere de un proceso de fortalecimiento para enfrentar los retos e incertidumbres derivados del cambio climático. Por ello, es primordial implantar medidas de ahorro de agua y energía en todos los procesos en los que se utiliza, como es el caso de los sistemas de riego.

Para reducir el consumo de agua se podría limitar la cantidad aplicada o distribuirla con mayor eficiencia. Para conseguirlo conviene tener presente ciertas prácticas que pueden suponer una mejora en la eficiencia del uso del agua y, por tanto, una mayor disponibilidad del recurso.

El proyecto LIFE NADAPTA (2017-2025) tiene como objetivo la adaptación de Navarra a los efectos del Cambio Climático. Las medidas de adaptación se encuentran englobadas en seis áreas estratégicas diferentes. Una de las acciones desarrolladas en el área de agricultura está basada en la gestión adaptativa al uso correcto del agua del riego y enmarcado en este contexto INTIA ha realizado ensayos de riego con diferentes estrategias de ahorro de agua y energía en las campañas de riego 2018 y 2019. En este trabajo se presentan los resultados de dichos ensayos de riego.

2) Objetivos

El objetivo general de los ensayos de riego realizados es presentar diferentes estrategias y herramientas para la evaluación y desarrollo de opciones de adaptación y mitigación del cambio climático. En la campaña 2018 el objetivo se centra en la reducción del gasto energético y de la emisión de Gases de efecto invernadero (GEI) que supone una gestión sostenible del agua de riego en regadíos dependientes de energía. En la campaña 2019 el objetivo se centra en mejorar la eficiencia en el uso del agua mediante la evaluación de estrategias de optimización de riego a través de la implantación de riego deficitario controlado (RDC) y riego deficitario sostenido (RDS).

3) Materiales y Métodos

Campaña 2018: Los ensayos se realizaron en una parcela instalada con riego por aspersión (marco 18 x 15T) dividida en 7 sectores de riego. Los sectores de los extremos de la parcela se excluyeron y en los sectores restantes se probaron aspersores de baja presión a 2.0 bar y 2.5 bar (4 ensayos) comparándolos con un sector con aspersores a presión convencional a 3.5 bar. Las dosis de riego aportadas fueron iguales en todos los tratamientos y se calcularon a través de la herramienta HAD riego de la plataforma AGROasesor. Esta herramienta hace un balance hídrico en tiempo real, por lo que las necesidades se adaptan exactamente a las condiciones reales de parcela. En este ensayo la cantidad de riego aportada fue de 6.716 m³/ha. En el caso de los sectores a baja presión

se empleó más tiempo de riego ya que la pluviometría es inferior a la manejada en los sectores testigos con aspersores convencionales.

Tabla 1. Ensayo de aspersores de baja presión en maíz campaña 2018

Nº Tratamiento	Tipo aspersor	Presión (bar)	Boquillas (mm)	Pluviometría (mm/h)
1	Convencional	3.5	4.4 y 2.4	6.6
2	Baja presión marca 1	2.0	4.5 y 2.5	5.1
3	Baja presión marca 1	2.5	4.5 y 2.5	5.6
4	Baja presión marca 2	2.5	4.4 y 2.4	5.0
5	Baja presión marca 2	2.5	4.4 y 2.4	5.7
6	Convencional	3.5	4.4 y 2.4	6.6
7	Convencional	3.5	4.4 y 2.4	6.6

Campaña 2019: Se realizan ensayos de RDC en maíz y de RDS en brócoli.

Los ensayos de maíz consistieron en probar en riego por aspersión (18 x 15T) diferentes dosis de riego deficitario controlado con diferentes presiones de trabajo de aspersores a 2.5 bar y 3.5 bar. RDC se aplicó en las fases desde nascencia a 8-10 hojas y desde estado grano pastoso a madurez fisiológica.

La dosis de riego de referencia (4800 m³/ha) se calculó con la herramienta HAD riego (AGROasesor) y la frecuencia de riego de referencia se ajustó a reponer el nivel de capacidad de campo del suelo. Las cantidades de riego finales aportadas fueron del 108%, 100%, 80% y 70% de la recomendaciones de riego. La dosis del 108% es la dosis tradicional aplicada en la zona.

Los ensayos en brócoli se realizaron con riego por goteo y consistieron en comparar los resultados obtenidos con aportaciones de riego del 100% con aportaciones de riego deficitario sostenido del 77% y 62%. Estas estrategias se comenzaron a aplicar una vez que el cultivo estuvo implantado correctamente. La dosis de riego de referencia se calculó gracias a la herramienta HAD riego de la plataforma AGROasesor (2165 m³/ha).

Tabla 2. Ensayos de RDC y RDS en maíz y brócoli campaña 2019

Cultivo	Tipo aspersor-Presión media (bar)	Dosis (m ³ /ha)
MAIZ	Baja presión-2.5	3300
	Baja presión-2.5	3900
	Baja presión-2.5	4800
	Presión convencional-3.5	4800
	Presión convencional-3.5	3900
	Presión convencional-3.5	3300
	Presión convencional-3.5	5220

Cultivo	Pluviometría (l/m ² h)	Dosis (m ³ /ha)
BROCOLI	3.12	2165
	3.12	1698
	3.12	1274

Parámetros evaluados:

Durante todos los ensayos en ambas campañas se tomaron varias medidas con el fin de determinar las diferencias en los tratamientos estudiados. Los parámetros analizados fueron los siguientes:

- ✓ Humedad de Suelo.
- ✓ Desarrollo vegetativo y seguimiento del estado fenológico del maíz.
- ✓ Cosecha diferenciada por sector.

El seguimiento de la humedad en suelo se realizó gracias al uso de sondas de humedad capacitivas del tipo FDR (Frequency Domain Reflectometry, Reflectometría en el dominio de la frecuencia) colocadas a diferentes profundidades (15 y 30 cm de profundidad).

El desarrollo vegetativo del maíz se evaluó mediante imágenes obtenidas gracias a plataforma DRON. Se realizaron cuatro vuelos sobre la parcela en diferentes fechas con el objetivo de obtener las ortofotografía RGB georreferenciada de alta resolución de las zonas de cultivo durante los estadios fenológicos más representativos del maíz, estados BBCH 18, 51, 69 y 83. De estas imágenes se obtuvo el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada). Este valor se calculó para cada sector de riego.

Las variables que se midieron en cosecha fueron rendimiento final en cosecha (kg/ha) y humedad de grano (%).

4) Resultados

Campaña 2018: La diferencia de presión entre los tratamientos no tuvo repercusión en el reparto de agua en el suelo, ni en el vigor vegetativo, ni en el rendimiento (ver imagen 1) ya que no hubo diferencias significativas en esta variable entre tratamientos. El nivel de significancia fue de 0.05.

Estos resultados se pueden explicar ya que la morfología del maíz con abundantes hojas y porte alto ha podido contribuir en la distribución del agua de riego.

Del análisis de las sondas de humedad no se aprecian diferencias en la forma de reparto del agua entre los tratamientos estudiados, por tanto la diferente pluviometría de los tratamientos no se refleja en diferencias apreciables en el reparto de agua a 15 y 30 cm para esta parcela. El tiempo en el que las sondas reaccionan ante un evento de riego es similar en todos los tratamientos.

En la tabla 3 se muestran las medias de los valores de los índices NDVI en las 4 fechas para los distintos sectores de riego o tratamientos. La evolución de los datos sigue un patrón similar para todos los tratamientos estudiados. La curva presenta un máximo de valor de NDVI correspondiente a la segunda fecha estudiada, en el inicio de salida penacho disminuyendo ligeramente el valor hasta el estadio de pastoso temprano.

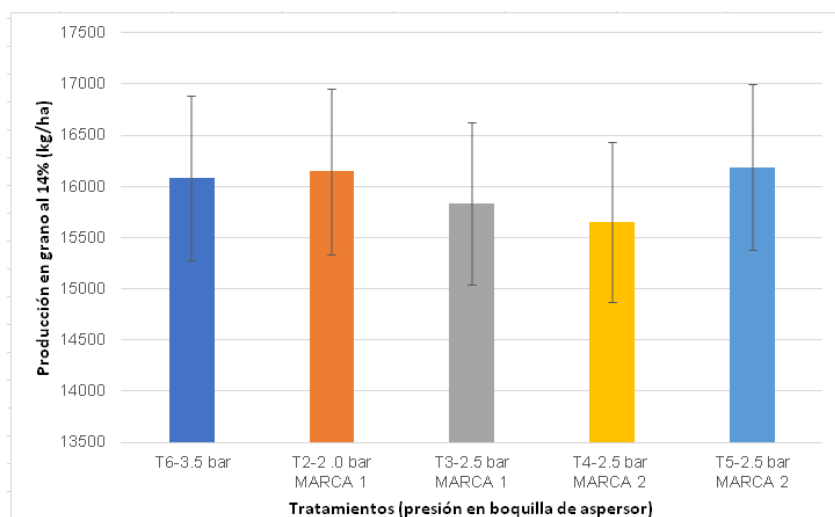


Figura 1. Valores promedio de cosecha de maíz para los 5 tratamientos (campaña 2018).

Tabla 3. Valores medios de NDVI para los distintos sectores de riego (campaña 2018 maíz)

FECHA	T1- Conven- cional	T2-Baja presión marca 1	T3-Baja presión marca 1	T4-Baja presión marca2	T5-Baja presión marca2	T6- Conven- cional	T7- Conven- cional
8-julio	0.50024	0.61210	0.62992	0.63230	0.60472	0.58784	0.56565
26-julio	0.72077	0.84167	0.85297	0.85138	0.82860	0.79758	0.71704
17- agosto	0.70594	0.82391	0.83537	0.84087	0.83296	0.80766	0.73237
29- agosto	0.70198	0.81475	0.82347	0.83013	0.81001	0.77942	0.70794

Campaña 2019: En los ensayos de Riego Deficitario Controlado (RDC) en maíz no se obtuvieron diferencias significativas, entre los rendimientos obtenidos con la dosis de riego habitual, y la obtenida con la HAD riego. Esto permitiría un ahorro de un 8% de la dosis aportada. Para el resto de tratamientos las diferencias fueron significativas. La variable presión no influyó en los resultados como se puede comprobar en la Tabla 4. El nivel de significancia del análisis entre tratamientos es 0.05.

En los ensayos de Riego Deficitario Sostenido (RDS) en brócoli las diferencias de los rendimientos no fueron significativas entre los tratamientos (ver Tabla 4). Este ensayo ha supuesto una reducción del consumo específico de agua de hasta 44 m³/t.

Tabla 4. Resultados de cosecha de los ensayos de maíz y brócoli (campaña 2019)

MAIZ		BRÓCOLI	
PRESION/RDC	RENDIMIENTO (kg/ha)	RDS	RENDIMIENTO (kg/ha)
Aspersor BP/70%	10.564	100%	23.020
Aspersor BP/80%	11 623	77%	22.020
Aspersor BP/100%	13 838	62%	23.300
Aspersor PC/100%	13 987		
Aspersor PC/80%	12 555		
Aspersor PC/70%	10 096		
Aspersor PC/108%	14.000		

Del análisis de las sondas de humedad se apreciaron diferencias entre los distintos tratamientos.

En los ensayos de maíz con los tratamientos del 100% y del 108% la reserva del agua del suelo terminó con una cantidad mayor que la inicial, por lo que se deduce de manera general que no faltó agua y el suelo fue acumulando agua, además los picos registrados en las sondas estaban alrededor del límite de Capacidad de campo. En el resto de tratamientos hubo momentos del ciclo del maíz en los que el agua disponible para la planta se situó por debajo del punto crítico de humedad, en zona de estrés hídrico.

En los ensayos de brócoli se apreciaron diferencias entre los tratamientos pero en general el agua disponible para la planta se situó entre el punto crítico y el punto de capacidad de campo, en la zona de confort para la planta.

En la tabla 5 se muestran las medias de los valores de los índices NDVI en las 4 fechas para los distintos sectores de riego o tratamientos del ensayo del maíz. La evolución de los datos sigue un patrón similar para todos los tratamientos estudiados. La curva presenta un máximo de valor de NDVI correspondiente a la tercera fecha estudiada, disminuyendo ligeramente el valor hasta el estadio de pastoso temprano. Los valores de los índices obtenidos entre aspersores de baja presión y presión convencional para el 100% de recomendaciones son muy similares.

Tabla 5. Valores medios de NDVI para los distintos sectores de riego (campaña 2019 maíz)

FECHA	BP70%	BP80%	BP100%	PC100%	PC80%	PC70%	PC108%
11-julio	0.2912	0.3359	0.3585	0.3328	0.2544	0.3093	0.3495
12-agosto	0.6256	0.7957	0.8339	0.8013	0.6602	0.7440	0.7823
22-agosto	0.7129	0.8483	0.8585	0.8547	0.7016	0.7808	0.8395
17-septiembre	0.6699	0.7893	0.7995	0.7984	0.6693	0.7182	0.7796

5) Conclusiones

Los aspersores de baja presión se presentan como una alternativa en cultivos de porte alto. El empleo de estos aspersores en zonas de transformación, zonas nuevas de regadío, supondría una disminución de la altura de bombeo lo que implicaría un importante ahorro en la Huella de Carbono, año tras año.

La teledetección, el uso de herramientas de riego con balances hídricos en tiempo real y el seguimiento de humedad de suelo, son de importancia crucial para llevar a cabo estrategias de ahorro de agua y adaptación al cambio climático.

En maíz con un RDC del 80% de las dosis, la producción final se vio disminuida. El aumento de un 8% de la dosis de referencia, no se tradujo en aumento de producción.

En brócoli, RDS de hasta 62% de la dosis de referencia, permitieron una reducción del valor de consumo específico de agua de hasta 44 m³/t.

6) Bibliografía

- Low-pressure sprinkler irrigation in maize: Differences in water distribution above and below the crop canopy
N. Zapata et al. (2018) Agricultural Water Management
Assesing low-pressure solid-set sprinkler irrigation in maize
O. Robles et al. (2017) Agricultural Water Management
Corn Yield Response to Reduced Water Use at Different Growth Stages
H. Kebede et al. (2014) Scientific Research
El diseño de proyectos y su relación con el ahorro energético.
Nery Zapata (2014). Jornadas Riegos del Alto Aragón. Huesca.
La innovación en el regadío. Nuevas tecnologías y optimización del binomio agua-energía.
Enrique Playán Jubillar (2014). XIII Congreso Nacional de Comunidades de Regantes. Huelva.

GRUPO TEMAS B:

Ingeniería y gestión de regadíos

Ingeniería y Modernización del Riego: Equipos, materiales, instrumentación, etc. Métodos de riego y respuesta de los cultivos. Explotación, mantenimiento, modernización y rehabilitación de los sistemas de riego y drenaje. Ahorro de agua, energía y otros insumos. Reducción de costes de explotación. Programación de la red de riego. Modelos matemáticos. Utilización de fuentes alternativas de energía en riegos a presión. Proyectos de ingeniería de riego, experiencias y enseñanzas adquiridas de su ejecución. Aplicación práctica de técnicas experimentadas.

Gestión, Legislación, Economía del Riego y Otros: Formación del regante. Asesoría del riego. Aspectos sociales e institucionales, economía del regadío, legislación del agua y derechos de uso. Mercados del agua. Huella hídrica y agua virtual. Comunidades de usuarios y gestión integral de los recursos. Métodos de cálculo y repercusión sostenible del coste de los servicios de agua de riego, tarifas. Influencia del regadío en el ciclo del agua y la planificación hidrológica. Conservación de los recursos superficiales y subterráneos. Agricultura de regadío sostenible. Competitividad y mercados agrarios.

B-01-2020

BANCO PÚBLICO DE AGUA PARA RECUPERAR AGUA PARA EL MEDIOAMBIENTE EN SITUACIÓN DE SEQUÍA EN CONTEXTO DE MONOPOLIO-MONOPSONIO

Montilla-López, N.M. (1), Gómez-Limón, J.A. (2) (P), Gutiérrez-Martín, C. (3)

¹ Profesora Sustituta Interina, Universidad de Córdoba, Grupo de Investigación WEARE: Water, Environmental and Agricultural Resources Economics, g02molon@uco.es

² Catedrático de Universidad, Universidad de Córdoba, Grupo de Investigación WEARE: Water, Environmental and Agricultural Resources Economics, jglimon@uco.es

³ Profesor Titular de Universidad, Universidad de Córdoba, Grupo de Investigación WEARE: Water, Environmental and Agricultural Resources Economics, carlos.gutierrez@uco.es

Resumen

Los mercados de derechos temporales de agua (mercados de dotaciones) son instrumentos ampliamente utilizados para recuperar agua para el medioambiente durante los períodos de escasez coyuntural (sequías). Este documento propone un banco de agua que opera en un contexto de monopolio-monopsonio con el doble propósito de reasignar el agua entre los agricultores y adquirir agua para el medioambiente durante los períodos de sequía. El banco de agua propuesto sería una mejora en los procedimientos actuales para la compra pública de dotaciones de agua con fines ambientales. Este sería administrado por una agencia pública que buscaría maximizar la eficiencia económica generada en las compras y ventas de agua por los regantes y la eficiencia generada por la recuperación de las dotaciones de agua para el medioambiente. Una característica adicional e innovadora del análisis realizado es que considera las ineficiencias en la economía en su conjunto causadas por el gasto público en compras de dotaciones de agua, medido a través del coste marginal de los fondos públicos. El rendimiento potencial del banco de agua propuesto se simula mediante técnicas de programación matemática, tomando la cuenca del río Guadalquivir (sur de España) como caso de estudio. Los resultados evidencian que, en términos de eficiencia económica, el banco propuesto supera a los instrumentos actualmente en vigencia para comprar dotaciones de agua.

1. Introducción y objetivos

En cuencas cerradas, donde no es posible aumentar más la oferta de agua (Molle *et al.* 2010), el medioambiente a menudo se ve afectado negativamente debido a que las extracciones superan los límites sostenibles. Este problema es especialmente agudo durante los períodos de sequía, cuando todos los derechos de agua están asignados y no es posible atender a todos los usos, incluidos los ambientales (Wheeler *et al.* 2013). En estas situaciones de escasez coyuntural, la implementación de bancos de agua puede resultar una alternativa de gestión útil (Hanak & Stryjewski 2012). Estos bancos, conforme a la legislación española son instituciones de naturaleza pública, donde los organismos de cuenca se encargan de centralizar todas las operaciones del mercado, tanto de compras como de ventas de dotaciones. A través de estas operaciones, las autoridades pueden comprar dotaciones de agua con fondos públicos para mejorar los caudales de los ríos afectados por la sequía.

El objetivo propuesto en este trabajo es doble: i) proponer un banco de agua en régimen de monopolio-monopsonio que facilite reasignar agua entre usos productivos y adquirir

dotaciones para mejorar la calidad ambiental de las masas de agua con el propósito de maximizar la eficiencia económica total, y ii) analizar el desempeño potencial del banco de agua propuesto en la cuenca del Guadalquivir cuantificando las mejoras de eficiencia económica que se alcanzaría con su implementación.

2. Materiales y métodos

A diferencia de los bancos de agua que operan para recuperar agua ambiental comprando agua en un mercado competitivo, el banco de agua público propuesto actuaría en régimen de monopolio-monopsonio, prohibiendo por tanto todos los contratos de cesión, de manera que todas las operaciones de mercado se centralizasen a través del banco. Este poder de mercado por parte del banco permitiría a la agencia gestora del mismo distinguir entre los usos del agua (productivos y ambientales), lo que posibilitaría que el valor marginal del agua vendida a los usuarios productivos (P_v) difiriese del valor marginal del agua destinada a los usos ambientales (V_e). Como institución pública sin ánimo de lucro, se supone que la agencia del agua usaría este poder de mercado para maximizar la eficiencia económica, cubriendo cualquier déficit en el flujo de caja del banco (ingresos obtenidos por las ofertas públicas de venta menos gastos en ofertas públicas de compra) con fondos públicos.

Operando en régimen de monopolio-monopsonio, el banco de agua podría crear un diferencial entre el precio a pagar por las adquisiciones y el precio a percibir por las ventas de dotaciones, lo que le permitirá autofinanciar parte de las adquisiciones de agua para fines ambientales, tal y como se muestra en la Figura 1. En esta figura se observa: a) la oferta de agua del banco ($Q_c(P_c)$), que indica las cantidades que el banco puede comprar a los regantes de la cuenca para cada precio P_c ; b) la demanda del sector agrario ($Q_v(P_v)$), que cuantifica el volumen de las dotaciones que los regantes de la cuenca están dispuestos a comprar para cada precio P_v ; c) la demanda ambiental de agua ($Q_e(V_e)$), que establece la cantidad de agua que la sociedad está dispuesta a adquirir con fines ambientales para cada valor V_e ; y d) la demanda agregada agraria y ambiental (Q_t).

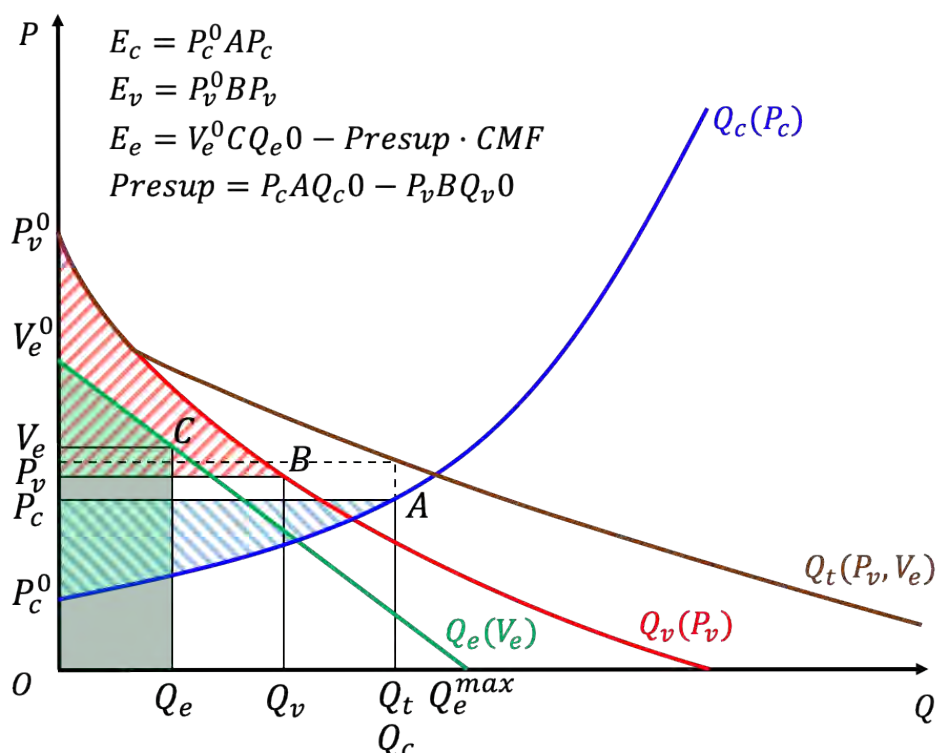


Figura 1. Funcionamiento del banco de agua.

La estrategia del banco de agua para autofinanciar parcialmente las compras de agua para el medioambiente consiste en comprar una cantidad de agua Q_c a un precio P_c , para posteriormente revender parte de dicha cantidad, Q_v , a un precio P_v mayor. La diferencia entre el agua adquirida y vendida, Q_e , es destinada para fines ambientales. Los precios (y las cantidades) de compra y venta se establecen por la agencia pública que gestiona el banco que, como se ha indicado, busca maximizar el bienestar social, cuantificado como la eficiencia económica total (E). Esta eficiencia se ha calculado como suma de los excedentes económicos generados por las compras de agua, las ventas y la recuperación de agua con fines medioambientales.

En este sentido, la eficiencia generada por la oferta pública de compra se puede calcular a través del excedente del productor (E_c), que mide el beneficio obtenido por los usuarios del agua cuando venden sus dotaciones de agua al banco (la diferencia entre los ingresos por ventas y los ingresos no percibidos debido a un menor uso de agua). Esta eficiencia está representada por el área rallada en rojo $P_cAP_c^0$. La eficiencia generada por las ventas del banco a usuarios productivos se calcula a través del excedente del consumidor E_v , lo que representa el beneficio que obtienen los usuarios productivos cuando compran agua al banco (la diferencia entre el ingreso adicional debido a una mayor producción y el coste de compra). Si el precio de venta se fija en P_v , entonces E_v es igual al área $P_v^0BP_v$.

La recuperación de agua para fines ambientales también genera ganancias de eficiencia, que pueden explicarse utilizando el concepto de excedente del consumidor como en el caso de los usuarios productivos. En este caso, el excedente ambiental E_e mide el beneficio que la sociedad obtiene del agua recuperada para el medioambiente como la diferencia entre la eficiencia económica adicional debido a los mayores flujos en las masas de agua y el presupuesto necesario para recuperar esa agua. Si el valor del agua ambiental para la sociedad se fija en V_e , entonces E_e es igual al área $V_e^0CQ_eO$. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los recursos presupuestarios necesarios para implementar cualquier política de gasto público primero deben recaudarse a través del sistema tributario, y esto inevitablemente causa distorsiones que reducen la eficiencia económica. Estas pérdidas pueden cuantificarse a través del coste marginal de los fondos públicos (CMF), un parámetro que refleja el precio sombra que la sociedad paga por cada unidad monetaria invertida en políticas de gasto público (Dahlby 2008). Por lo tanto, el excedente ambiental E_e se puede medir con mayor precisión como la diferencia entre la eficiencia generada por la cantidad de agua destinada para fines ambientales (área por debajo de la curva de demanda de la sociedad para el agua ambiental, $V_e^0CQ_eO$) y el coste social de esta agua en términos presupuestarios ($Presupuesto \times CMF$).

El análisis empírico realizado se basa en las curvas de oferta agregadas de agua de los usuarios agrarios $Q_c(P_c)$ y las curvas de demanda agregada de los regantes $Q_v(P_v)$ en la cuenca del río Guadalquivir estimadas por Gutiérrez-Martín *et al.* (2020). Estos autores basan sus estimaciones en los resultados de los modelos de programación matemática construidos por Montilla-López *et al.* (2018) para simular el comportamiento de los regantes frente a un banco de agua (decisiones sobre la venta y compra de dotaciones de agua) en esta misma cuenca. Gutiérrez-Martín *et al.* (2020) estiman curvas de oferta y demanda agregadas para tres escenarios diferentes de disponibilidad de agua (intensidad de las sequías): sequía “moderada”, “severa” e “intensa”, donde las dotaciones de agua asignadas a los regantes son el 75%, 50% y 25% de las otorgadas en un año hidrológico promedio, respectivamente.

La cuenca del Guadalquivir se considera una cuenca cerrada a nuevos usos debido a que no es posible aumentar la oferta de agua. En este sentido, la reforma de la Ley de Aguas de 1999 introduce instrumentos de mercado para la gestión de la demanda, entre los que se encuentran los mercados de agua y los centros de intercambio de derechos de agua (bancos de agua). El uso medio de agua en la cuenca es de 3.815 hm³/año, de los que el 88% se destina al regadío. Su clima mediterráneo expone la cuenca a periodos cíclicos de sequías,

durante los cuales las dotaciones de todos los usuarios agrarios son reducidas proporcionalmente, ya que los usos urbanos están asegurados por el sistema de prioridad establecido. Por tanto, son los usuarios agrarios los únicos interesados en participar en el mercado establecido a través del banco de agua.

Seguendo a Gutiérrez-Martín *et al.* (2020), la demanda social por el agua ambiental $Q_e(V_e)$ se asume que es lineal, conectando el punto de agua ambiental nula, para el cual el valor marginal del agua ambiental es máximo ($Q_e = 0, V_e^0$), y el punto de máxima agua ambiental demanda, para el que lógicamente el valor marginal del agua ambiental es cero ($Q_e^{max}, V_e = 0$) (véase ecuación 8). Se ha considerado que la máxima agua ambiental demanda (Q_e^{max}) se corresponde con la diferencia entre el flujo de agua en un año hidrológico normal y el flujo de mínima agua ambiental correspondiente a los caudales ecológicos. Esta diferencia para la cuenca del Guadalquivir se ha estimado en 6.787 hm³/año. Sin embargo, no hay estudios que analicen el valor marginal máximo del agua ambiental (V_e^0) que la sociedad está dispuesta a pagar como máximo por el agua ambiental para las distintas situaciones de disponibilidad de agua. Por ese motivo, se ha optado por parametrizar el valor de V_e^0 al objeto de determinar el comportamiento del banco de agua en función del valor de este parámetro.

Para simular el rendimiento potencial de esta propuesta institucional de banco de agua, se ha construido un modelo de programación matemática cuyo objetivo es maximizar la eficiencia total, y cuyas variables de decisión son los precios de adquisición y venta de las dotaciones de agua, que a su vez determinarán las cantidades compradas y vendidas, así como recuperadas para el medioambiente. El modelo de simulación así construido es el que sigue:

$$\text{Max } E = E_c + E_v + E_e \quad (1)$$

Sujeto a:

$$E_c = \int_{P_c^0}^{P_c} Q_c(P_c) dP_c \quad (2)$$

$$E_v = \int_{P_v}^{P_v^0} Q_v(P_v) dP_v \quad (3)$$

$$E_e = \int_{V_e}^{V_e^0} Q_e(V_e) dV_e + Q_e V_e - \text{Presup} \cdot \text{CMF} \quad (4)$$

$$Q_c = Q_v + Q_e \quad (5)$$

$$Q_c = a_c P_c^2 + b_c P_c + c_c \quad (6)$$

$$Q_v = a_v P_v^2 + b_v P_v + c_v \quad (7)$$

$$Q_e = Q_e^{max} \left(1 - \frac{V_e}{V_e^0} \right) \quad (8)$$

$$P_c \cdot Q_c = P_v \cdot Q_v + \text{Presup} \quad (9)$$

Las eficiencias de las compras, las ventas y ambiental está representado por las ecuaciones 2-4. La ecuación 5 muestra el equilibrio cuantitativo de agua. Las ecuaciones 6, 7 y 8 representan las curvas de oferta (Q_c) y demanda agraria (Q_v) y ambiental (Q_e), respectivamente. Finalmente, la ecuación 9 muestra el equilibrio presupuestario, igualando gastos e ingresos del banco de agua.

3. Resultados y discusión

La Figura 2 muestra los resultados obtenidos para el banco de agua para los tres escenarios de escasez de agua propuestos en términos de volúmenes negociados, precios de compraventa, fondos públicos requeridos y mejoras de eficiencia con relación a un escenario de referencia sin comercio para cada valor marginal máximo de agua ambiental (V_e^0) que varía de 0 a 0,8 €/m³. Los tres escenarios considerados revelan ganancias de eficiencia netas en comparación con el escenario de referencia, aunque con algunas diferencias.

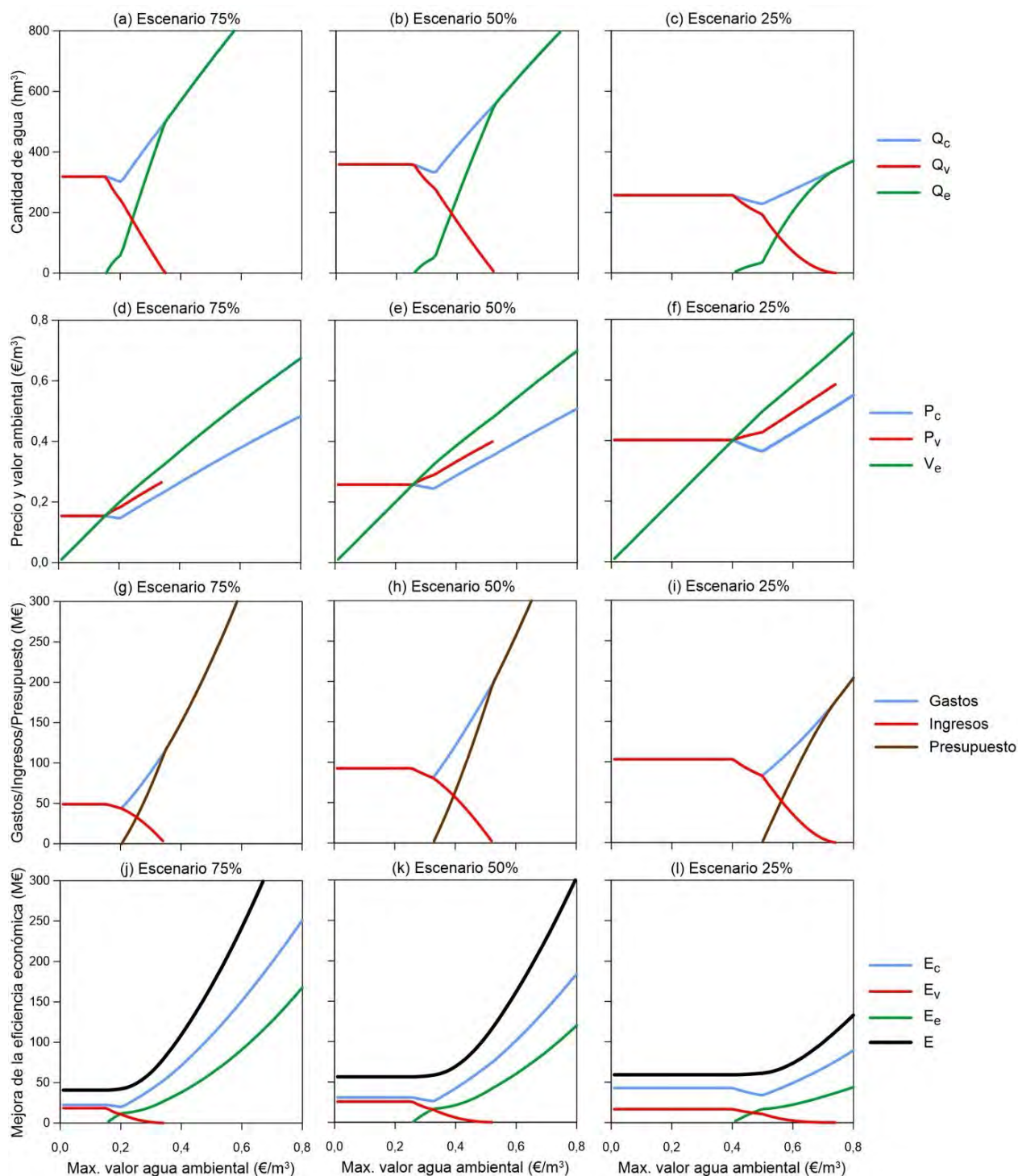


Figura 2. Resultados para el banco de agua: volúmenes negociados, precios, flujos de efectivo y mejoras de eficiencia.

La parametrización de V_e^0 muestra cuatro fases definidas en todos los escenarios considerados. Las principales características de cada fase se resumen en la Tabla 1. La *primera fase* es la correspondiente a los valores más bajos de V_e^0 , y se caracteriza por el hecho de que no se recupera agua para el medioambiente (ver Figura 1a-c), ya que el valor marginal del agua ambiental está por debajo del precio de equilibrio del mercado ($P_c = P_v$, ver Figura 1d-f). De esta forma, el banco de agua compra dotaciones de agricultores que están dispuestos a vender y posteriormente las vende todas ($Q_c = Q_v$) a otros agricultores al mismo precio. Puesto que los gastos por las compras igualan a los ingresos obtenidos por las ventas, no se requieren fondos públicos para las operaciones (ver Figura 1g-i).

Tabla 1. Fases del banco de agua en función del máximo valor social del agua ambiental (V_e^0)

Fase	Rango de V_e^0 (€/m ³)			Descripción operaciones	Relaciones matemáticas
	A75%	A50%	A25%		
Fase 1	0,00-0,15	0,00-0,25	0,00-0,40	El banco compra a regantes y revende toda el agua a otros regantes. No se recupera nada para el medioambiente. El banco se autofinancia.	$V_e < P_c = P_v$ $Q_c = Q_v$ $Q_e = 0$ $Presup = 0$
Fase 2	0,16-0,20	0,26-0,32	0,41-0,49	El banco compra a regantes; parte la revende a otros regantes y parte se destina al medioambiente. El banco se autofinancia empleando su poder de monopolio-monopsonio.	$P_c < P_v < V_e$ $Q_c = Q_v + Q_e$ $Q_e > 0$ $Presup = 0$
Fase 3	0,21-0,34	0,33-0,52	0,50-0,74	El banco compra a regantes; parte la revende a otros regantes y parte se destina al medioambiente. El banco emplea su poder de mercado, pero necesita asignación de presupuesto público.	$P_c < P_v < V_e$ $Q_c = Q_v + Q_e$ $Q_e > 0$ $Presup > 0$
Fase 4	>0,35	>0,53	>0,75	El banco compra a regantes y destina toda el agua al medioambiente. El banco emplea su poder de monopolio-monopsonio, pero necesita asignación de presupuesto público.	$P_c < V_e$ $Q_c = Q_e$ $Q_v = 0$ $Presup > 0$

Después de que el valor máximo del agua ambiental (V_e^0) alcance los precios de equilibrio del mercado correspondientes en cada escenario, los resultados de la simulación entran en una *segunda fase*, donde una parte de las asignaciones de agua compradas a los agricultores se recupera para el medioambiente, reasignando el resto entre otros regantes ($Q_c = Q_v + Q_e$ y $Q_e > 0$). Cuanto mayor sea el valor máximo del agua ambiental, mayores serán las cantidades compradas y recuperadas para el medioambiente, y menor será la cantidad reasignada entre los agricultores (véanse las Figuras 3a-c). La agencia que administra el banco de agua ejerce su poder de mercado para crear un diferencial entre los precios de compra y venta ($P_c < P_v$) como se muestra en las Figuras 4d-f), lo que permite que el banco se autofinancie, puesto que no se necesitan fondos públicos para la adquisición de agua ambiental. En esta fase el valor del agua ambiental V_e es mayor que el precio de venta Q_v , haciendo que mejore la eficiencia total. Durante esta fase, las ganancias de eficiencia resultantes de la mejora en los flujos en las masas de agua (medido como $\int_{V_e^0}^{V_e} Q_e(V_e) dV_e + Q_e V_e$ en la ecuación 4) superan la pérdida de eficiencia económica causada por la recaudación de fondos públicos a través de impuestos, cuantificados a través del coste marginal de los fondos públicos ($Presupuesto \times CMF$). Por lo tanto, hay un aumento continuo en la eficiencia económica total ($E_c + E_v + E_e$) como se muestra en las figuras 4j-l.

La *tercera fase* comienza cuando los valores de V_e^0 son lo suficientemente altos como para que el banco de agua necesite gastar fondos públicos para poder seguir aumentando la eficiencia económica mediante la recuperación de más agua para el medioambiente (véanse las figuras 4a-c). Es decir, durante esta tercera fase, el poder de monopolio-monopsonio no permite mejorar más la eficiencia total a través de recuperar más agua para el medioambiente,

por lo que se necesita una cantidad cada vez mayor de fondos públicos para comprar más asignaciones para fines ambientales (ver figuras 4g-i).

La sustitución gradual de Q_v por Q_e termina en un punto de V_e^0 donde el sector agrario no puede competir por la compra de asignaciones de agua con la demanda social de agua ambiental ($Q_v = 0$). Este punto define el comienzo de la *cuarta fase*, para valores de V_e^0 superiores a 0,35 €/m³, 0,53 €/m³ y 0,75 €/m³ para los distintos escenarios de disponibilidad de agua del 75%, 50% y 25%, respectivamente (ver figuras 4a-c). Durante esta fase, todas las asignaciones de agua compradas a los agricultores se dedican al medioambiente ($Q_v = Q_e$), respaldadas por una cantidad creciente de fondos públicos (ver figuras 4g-i). Sin embargo, el poder de monopolio-monopsonio de la agencia del agua le permite mantener los precios de compra por debajo del valor ambiental marginal del agua ($P_c < V_e$, como se muestra en las figuras 4d-f). Por lo tanto, observamos una tendencia creciente en la mejora de la eficiencia total (ver figuras 4j-l).

4. Conclusiones y recomendaciones

Podemos concluir que el banco de agua propuesto, para cualquier escenario de sequía y para cualquier valor social por el agua ambiental, resulta ser un instrumento útil para mejorar la eficiencia económica total derivada del uso del agua durante episodios de escasez coyuntural de agua. Se ha mostrado cómo el poder de monopolio-monopsonio del banco de agua propuesto es capaz de crear un diferencial de precios en el mercado de dotaciones para la agricultura que, para ciertos valores sociales por el agua ambiental, puede autofinanciar la adquisición de agua para el medioambiente.

Otra importante innovación de este estudio es la incorporación de las ineficiencias inherentes al uso del gasto público, medido a través del coste marginal de los fondos públicos (CMF), al realizar compras públicas de dotaciones (o derechos) de agua. Los resultados obtenidos sugieren que evaluaciones previas de la recuperación de agua pública para el medioambiente a través de instrumentos de mercado podrían haber sobreestimado las ganancias de eficiencia porque ignoraron las ineficiencias relacionadas con el gasto público. Se evidencia de esta manera que cualquier evaluación de políticas que implique la compra pública de asignaciones o derechos de agua debería tener en cuenta estas ineficiencias a través del coste marginal de los fondos públicos.

Finalmente, debe comentarse que los resultados de las simulaciones podrían estar sobrestimando los niveles de eficiencia alcanzados por el banco propuesto, dados los supuestos simplificadores considerados para la modelización del funcionamiento del banco. Por este motivo, sería conveniente que en futuros trabajos se perfeccionase la modelización realizada al objeto de considerar los costes de transacción inherentes en las operaciones de mercado, así como minimizar los sesgos de agregación construyendo modelos a nivel de subcuencas hidrológicas.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MCIU), la Consejería de Economía y Conocimiento de la Junta de Andalucía y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través de los proyectos de investigación IRRI-DROUGHT (RTI2018-095407-B-I00) y FINAGUA (UCO-1264548).

6. Bibliografía

- Dahlby, B. (2008). The marginal cost of public funds: Theory and applications. Cambridge, MA, USA: MIT University Press.
- Gutiérrez-Martín, C., Gómez-Limón, J.A. & Montilla-López, N.M. (2020). Self-financed water bank for resource reallocation to the environment and within the agricultural sector. *Ecological Economics*, 169, 106493.
- Hanak, E. & Stryjewski, E. (2012). California's water market, by the numbers: Update 2012. San Francisco: Public Policy Institute of California.
- Molle, F., Wester, P. & Hirsch, P. (2010). River basin closure: Processes, implications and responses. *Agricultural Water Management*, 97(4), 569-577.
- Montilla-López, N.M., Gómez-Limón, J.A. & Gutiérrez-Martín, C. (2018). Sharing a river: Potential performance of a water bank for reallocating irrigation water. *Agricultural Water Management*, 200, 47-59.
- Wheeler, S.A., Garrick, D., Loch, A. & Bjornlund, H. (2013). Evaluating water market products to acquire water for the environment in Australia. *Land Use Policy*, 30(1), 427-436.

B-03-2020

BALANCE DE CARBONO DE LAS ZONAS REGABLES DEL TRASVASE TAJO-SEGURA

Martin-Goriz, B. ⁽¹⁾, (P), Gallego-Elvira, B. ⁽¹⁾, Martínez-Alvarez, V. ⁽¹⁾, Maestre-Valero J.F. ⁽¹⁾

¹Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena, España. E-mail: b.martin@upct.es

Resumen

La demarcación hidrográfica del Segura se caracteriza por presentar un importante déficit estructural de agua, que afecta fundamentalmente al regadío, ya que se trata del uso con mayor demanda y se considera de menor prioridad que el suministro a poblaciones. La incorporación de Agua Marina Desalinizada (AMD) es una de las principales estrategias para hacer frente al persistente déficit hídrico que afecta al regadío del sureste español. Con el fin de mejorar el conocimiento sobre la sostenibilidad de la agricultura que se desarrolla en las Zonas Regables del Trasvase Tajo-Segura, en este trabajo se estima la huella de carbono de estos regadíos, para tres escenarios de incremento de AMD. Se realiza el balance de carbono como diferencia entre las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de las actividades agrícolas, y la remoción de CO₂ asociada a los cultivos implantados. Los resultados globales indican que los regadíos del trasvase Tajo-Segura (TTS) representan un importante sumidero de carbono en cualquiera de los escenarios analizados, disminuyendo su capacidad como sumidero de carbono conforme se intensifica la energía específica del suministro de agua de riego, variando de -1.208.084 t CO₂/año en el Escenario Concesional hasta -707.276 t CO₂/año en Escenario de Sustitución del TTS por desalación, pasando por -1.081.080 t CO₂/año en el Escenario Actual. La progresiva sustitución de agua del TTS por AMD reduciría en un 30% la capacidad de ser sumidero de CO₂ de la agricultura. Los resultados por cultivos muestran que todos los cultivos son sumideros de CO₂, siendo los leñosos 9 veces más eficientes que los hortícolas. Las UDAs en las que predominan los cultivos hortícolas serían las más perjudicadas por la sustitución de TTS por AMD.

Abstract

The Segura river basin is characterized by a structural water deficit, which fundamentally affects irrigation, since it is the use with the highest demand and considered to be of lower priority than the urban supply. The use of desalinated sea water (DSW) is one of the main strategies to deal with the persistent water deficit that affects irrigated agriculture in south-east Spain. In order to improve the knowledge about the sustainability of crops in the Tajo-Segura Irrigated area, this study evaluates the carbon footprint (CF) of the main crops in the area for three scenarios with increasing DSW. The CF was obtained as difference between the greenhouse gas emissions (GHG) of agricultural activities, and the CO₂ fixed by crops. Overall, the results show that Tajo-Segura irrigation area represents an important carbon sink in all scenarios, and that the carbon sink capacity is reduced when the specific energy of the irrigation water supply intensifies, varying from -1,208,084 t CO₂/year in the Concessional Scenario up to -707,276 t CO₂/year in the TTS water substitution for DSW Scenario, going through -1,081,080 t CO₂/year in the Current Scenario. The progressive replacement of TTS water by DSW could potentially reduce CO₂ sink capacity of agriculture by 30%. The results show that all crops are CO₂ sinks, but the woody crops are 9 times more efficient than horticultural crops. Therefore, the UDAs in which horticultural crops dominate are expected to be affected the most by the replacement of TTS water by DSW.

DOI:10.31428/10317/8704

1.- Introducción

La agricultura es necesaria para la producción de alimentos, y debe ser sostenible medioambientalmente para que pueda perdurar en el tiempo (CEC, 1999; UN-DSD 2000). La sostenibilidad de un sistema de producción agrícola debe sustentarse en indicadores adecuados. El Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación en su Informe Anual de Indicadores (MAPA, 2018) considera las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como un indicador adecuado para dar una visión integradora de la sostenibilidad del sector agrario. Desde la perspectiva de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), los cultivos agrícolas se caracterizan por presentar una doble vertiente. Por un lado, emiten GEI como consecuencia de las labores e insumos que se aportan y, por otra parte, representan un sumidero que captura y almacena el CO₂ atmosférico como parte de la fotosíntesis. En consecuencia, para analizar la “huella de carbono” en los cultivos agrícolas es necesario realizar un “balance de carbono” entre las emisiones de GEI y la remoción de CO₂. Dependiendo de las técnicas de producción e insumos utilizados se puede obtener un balance positivo, lo que implica que la actividad capta más CO₂ del que emite, y consecuentemente la misma se puede considerar sostenible desde esta perspectiva. Por otra parte, un balance negativo implicaría la necesidad de un replanteamiento de las técnicas e insumos productivos para alcanzar la sostenibilidad.

La demarcación hidrográfica del Segura se caracteriza por presentar un importante déficit estructural de agua, que afecta fundamentalmente al regadío, ya que se trata del uso con mayor demanda y se considera de menor prioridad que el suministro a poblaciones (CHS, 2015). A pesar de que en los últimos ciclos de planificación se han desarrollado distintas políticas orientadas a disminuir este déficit hídrico, su magnitud apenas ha variado como consecuencia del impacto del cambio climático en los recursos hídricos convencionales disponibles. La reutilización de aguas regeneradas y la incorporación de Agua Marina Desalinizada (AMD) son las principales estrategias recogidas en la planificación hídrica española con el fin de hacer frente al persistente déficit hídrico que afecta al regadío del sureste español. La principal ventaja del suministro de AMD es su condición de recurso hídrico inagotable y no sujeto a variaciones climáticas; pero el principal inconveniente es el elevado consumo energético asociado a su producción, lo que genera un coste del agua producto muy elevado y un nivel de emisiones de GEI que dificulta el desarrollo de las políticas demandadas para el control del cambio climático.

Con el fin de mejorar el conocimiento sobre la sostenibilidad de la agricultura que se desarrolla en las Zonas Regables del Trasvase Tajo-Segura, en este trabajo se estima de forma analítica y objetiva la huella de carbono de estos regadíos, cuantificando su balance de carbono como diferencia entre las emisiones de GEI de las actividades agrícolas desarrolladas, y la remoción de CO₂ asociada a los cultivos implantados.

2.- Objetivos

La huella de carbono se ha calculado bajo tres escenarios de suministro hídrico en los que se produce una sustitución progresiva del agua procedente del Trasvase Tajo-Segura (TTS) por suministro de agua marina desalinizada (AMD); dado que es la principal estrategia recogida en la planificación hídrica española con el fin de hacer frente al persistente déficit hídrico que afecta al regadío del sureste español. La principal ventaja del suministro de AMD es su condición de recurso hídrico inagotable y no sujeto a variaciones climáticas; pero el principal inconveniente es el elevado consumo energético asociado a su producción, lo que genera un coste del agua producto muy elevado y un nivel de emisiones de GEI que dificulta el desarrollo de las políticas demandadas para el control del cambio climático.

3.- Materiales y Métodos

Este trabajo se ha desarrollado en dos fases: (1) determinación de las emisiones y remociones de CO_2_{eq} de los nueve cultivos mayoritarios en las zonas regables asociadas al TTS (alcachofa, brócoli, lechuga, melón, limonero, naranjo, mandarino, albaricoquero y melocotonero), y (2) extrapolación de los valores obtenidos en la fase anterior a los regadíos asociados al TTS. Para determinar las emisiones de GEI de los cultivos se ha aplicado la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), siguiendo los protocolos estandarizados por las normas ISO 14040/14044, como procedimiento de cálculo con mayor reconocimiento y difusión a nivel nacional e internacional. Estas emisiones se han estimado utilizando fuentes de datos oficiales (Ministerios, Confederaciones, Administración Autonómica, etc.) y, en ausencia de estos, recurriendo a la información recogida en los trabajos de otros autores que consideramos de reconocido prestigio. Los datos de remoción de CO_2 de los cultivos analizados se han obtenido del “*Estudio sobre la absorción de CO_2 por los cultivos más representativos de la Región de Murcia*” (Victoria, 2010). Este estudio fue realizado por los centros oficiales de investigación y las universidades públicas de la Región (CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario, Universidad de Murcia y Universidad Politécnica de Cartagena) y analiza el potencial de remoción de CO_2 de las principales especies agrícolas y forestales de la Región de Murcia. Para la extrapolación de los valores obtenidos en la primera fase a los regadíos asociados al TTS se han utilizado Sistemas de Información Geográfica (SIG), adoptando como unidad territorial de cálculo las Unidades de Demanda Agraria (UDAs) definidas en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura para el periodo 2015-2021 (CHS, 2015). Ambas fases del trabajo se han desarrollado bajo tres escenarios de origen del agua de riego: (a) Escenario Concesional según el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21 para las Zonas Regables del Tránsito Tajo-Segura; (b) Escenario Actual, ajustando el suministro del trasvase para riego a su valor medio para el periodo 1979-2011 y el suministro de AMD a las concesiones actuales; y (c) Escenario de Sustitución de TTS por desalación, que resulta directamente comparable con el Escenario Concesional, ya que implica el mismo volumen total de suministro.

Justificación de los escenarios considerados

La actividad del riego es la principal consumidora de energía en la producción de cultivos de regadío bajo las condiciones agroclimáticas de la cuenca del Segura, siendo el origen del agua de riego un factor clave en la energía específica (kWh/m^3) asociada a esta actividad (Soto-García et al., 2013). Dado que el factor de emisión de la energía eléctrica en España es significativo ($0,354 \text{ kg CO}_2_{\text{eq}}/\text{kWh}$, según la base de datos ECOINVENT, en agosto de 2018) y que hay una gran diferencia de energía específica en el suministro desde el TTS ($1,21 \text{ kWh/m}^3$, Melgarejo y Montaña 2009) y desde las plantas desaladoras de agua marina ($4,32 \text{ kWh/m}^3$, Martínez-Álvarez et al., 2019), se ha considerado que el origen del agua suministrada es un factor especialmente relevante a la hora de definir distintos escenarios en este estudio (Tabla 1).

Justificación de los cultivos considerados

La estimación de las emisiones de GEI para un cultivo es una actividad que requiere conocer toda la información sobre las labores de cultivo e insumos aportados, así como de las infraestructuras necesarias en parcela. La estimación de la remoción de CO_2 requiere de la toma de muestras de individuos vegetales completos para determinar el contenido de carbono de todos sus órganos. Por tanto, no es fácil disponer de toda esta información para la multitud de cultivos que se desarrollan en las Zonas Regables del TTS, pero sí suele estar accesible para los más relevantes. Por este motivo, se han seleccionado los 9 cultivos que más superficie ocupan en la Región de Murcia en 2017 (CREM, 2019), como marco geográfico

más próximo a la cuenca del Segura, de la que no se dispone de información específica por cultivos.

Los cultivos se han organizados en tres grupos: hortícolas al aire libre, cítricos y frutales no cítricos. Esta organización tiene como finalidad ajustarse a la clasificación de cultivos que el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21 sigue para la descripción de las UDAs.

Tabla 1. Volumen de agua por recurso para cada escenario.

Escenario	Recurso	Volumen de agua (hm ³ /año)	Porcentaje (%)
Concesional	Aguas superficiales	107,53	15,89
	Aguas subterráneas	127,80	18,89
	Aguas regeneradas	41,33	6,11
	Suministro del TTS	400	59,11
	Suministro de AMD	0	0
Actual	Aguas superficiales	107,53	19,71
	Aguas subterráneas	127,80	23,42
	Aguas regeneradas	41,33	7,57
	Suministro del TTS	176	32,26
	Suministro de AMD	93	17,04
Concesional	Aguas superficiales	107,53	15,89
	Aguas subterráneas	127,8	18,89
	Aguas regeneradas	41,33	6,11
	Suministro del TTS	0	0
	Suministro de AMD	400	59,11

TTS: Trasvase Tajo-Segura; AMD: Agua Marina Desalinizada.

Emisiones de gases de efecto invernadero de los cultivos

Para determinar las emisiones de GEI se ha utilizado la metodología de ACV, que tiene en cuenta los procesos de forma global y permite estudiar las cargas ambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto o de una actividad.

El ACV es un proceso objetivo que permite evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto o cultivo agrícola, identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno, con el fin de determinar el impacto que ese uso de recursos y esos vertidos producen al medio ambiente. Además, permite evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental, así como brindar soporte para la toma de decisiones más rentables, sostenibles y eficientes. La complejidad del ACV requiere un protocolo al cual deberá ajustarse todo estudio de ACV. Dicho protocolo se encuentra establecido en la normativa elaborada por *International Standards Organisation*, ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006), que conlleva cuatro fases: objetivos y alcance del estudio, análisis del inventario, análisis del impacto e interpretación.

Mediante el ACV se han cuantificado las emisiones directas e indirectas de GEI producidos por los siguientes cultivos hortícolas (alcachofa, brócoli, lechuga y melón) y leñosos (naranja, mandarina, limonero, albaricoquero y melocotonero) producidos en Zonas Regables del TTS bajo diferentes escenarios de suministro de agua. La unidad funcional utilizada ha sido la hectárea de superficie cultivada y el análisis se ha realizado entre la cuna y la puerta de la parcela (*from "cradle to gate"*), por lo que se han estudiado las fases de extracción de materias primas, transporte a la explotación, utilización en el cultivo y transporte de residuos (plásticos, etc.) al gestor autorizado correspondiente.

Las emisiones de GEI se han estimado siguiendo la metodología de Panel Internacional de Cambio Climático (IPCC, 2006), v 1.03 (para un horizonte cronológico de 100 años) que cuantifica las emisiones de GEI referidas a dióxido de carbono equivalente (CO_2 eq). El desarrollo completo de la metodología, que no ha sido expuesto en el presente documento por limitaciones de espacio, puede consultarse en Martin-Gorri et al. (2020).

4.- Resultados y Discusión

Los resultados por grupos de cultivos (Fig. 1) ponen de manifiesto que los cultivos leñosos (“cítricos” y “frutales no cítricos”) presentan un balance de carbono por hectárea mucho más favorable que los cultivos “hortícolas al aire libre”. Las emisiones de GEI de los “hortícolas al aire libre” son superiores a la de los grupos de cultivos leñosos, (“cítricos” y “frutales no cítricos”), mientras que su remoción de CO_2 es sensiblemente inferior, resultando en balances de carbono menos favorables. Respecto a los escenarios, conforme se intensifica la energía específica (kWh/m^3) del suministro de agua de riego (Escenario Concesional → Escenario Actual → Escenario de Sustitución del TTS por desalación) las emisiones de GEI se incrementan, haciendo menos favorable el balance de carbono de cada grupo de cultivos, ya que la remoción de CO_2 es independiente del origen del agua de riego. Cabe destacar que en el caso del grupo de cultivos más desfavorable (“hortícolas al aire libre”) el balance para el Escenario de Sustitución del TTS por desalación llega a producir valores positivos, lo que implica un flujo global de carbono de la actividad a la atmósfera de $4,52 \text{ t CO}_2/\text{ha-año}$.

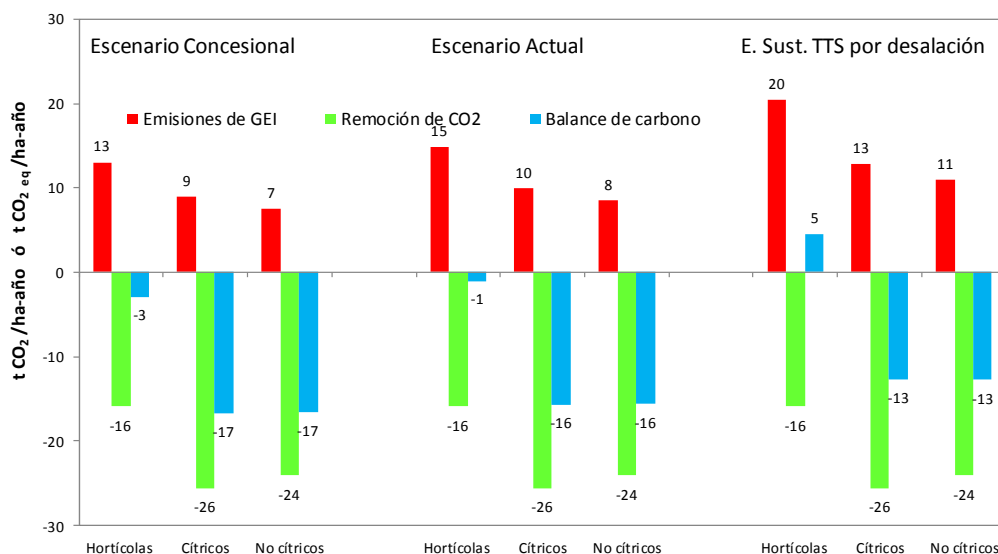


Figura 1. Resultados de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono por grupos de cultivo y escenarios.

Los resultados globales de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para la superficie neta de regadío asociada al trasvase Tajo-Segura en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21 (98.923,6 ha) se muestran en la Fig. 2. Se pone de manifiesto que los regadíos del trasvase Tajo-Segura representan un importante sumidero de carbono en cualquiera de los escenarios, disminuyendo su capacidad como sumidero de carbono desde $-1.208.084$ hasta $-707.276 \text{ t CO}_2/\text{año}$ conforme se intensifica la energía específica (kWh/m^3) del suministro de agua de riego (Escenario Concesional → Escenario Actual → Escenario de Sustitución del TTS por desalación). La remoción de CO_2 no varía entre escenarios, siendo su valor de $-2.199.828 \text{ t CO}_2/\text{año}$.

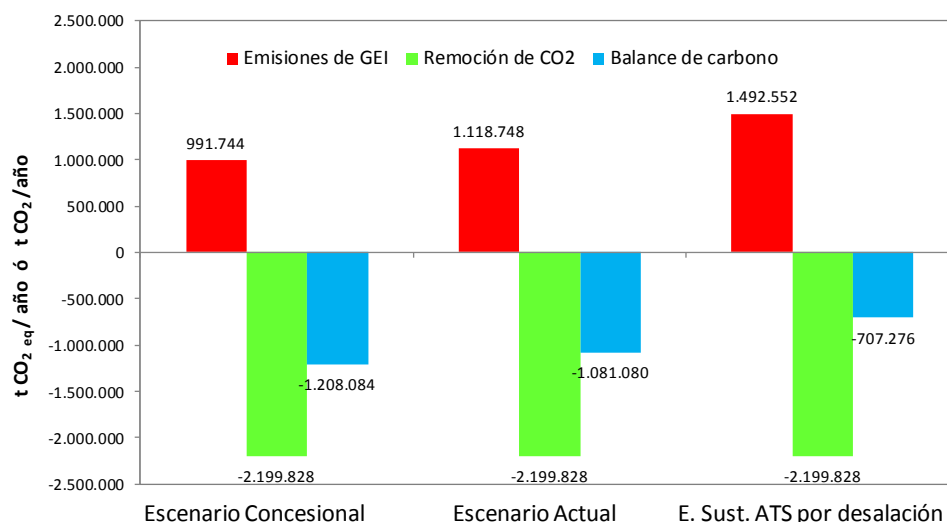


Figura 2. Resultados de emisiones de GEI, remoción de CO₂ y balance de carbono para la superficie neta de regadío asociada al trasvase Tajo-Segura en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21(98.923,6 ha), por escenarios.

Sin embargo, el rol como sumidero de los regadíos de trasvase Tajo-Segura podría ser superior si se suministrase el 100% de las concesiones de las Zonas Regables del trasvase, lo que debería permitir regar la superficie nominal según concesiones de las Zonas Regables del trasvase (133.356 ha, Soto-García et al., 2014). La Fig. 3 recoge los resultados globales de emisiones de GEI, remoción de CO₂ y balance de carbono para este caso en el Escenario Concesional y el Escenario de Sustitución del TTS por desalación, que implican la misma cantidad de suministro de agua. Se observa como la capacidad como sumidero de carbono de los regadíos de trasvase Tajo-Segura alcanzaría los -1.628.582 t CO₂/año para el Escenario Concesional, disminuyendo en 675.152 t CO₂/año en el caso de que se sustituyese el suministro de 400 hm³/año del TTS por agua marina desalinizada (Escenario de Sustitución del TTS por desalación). Para este caso hipotético, la remoción de CO₂ alcanzaría -2.965.523 t CO₂/año en ambos escenarios.

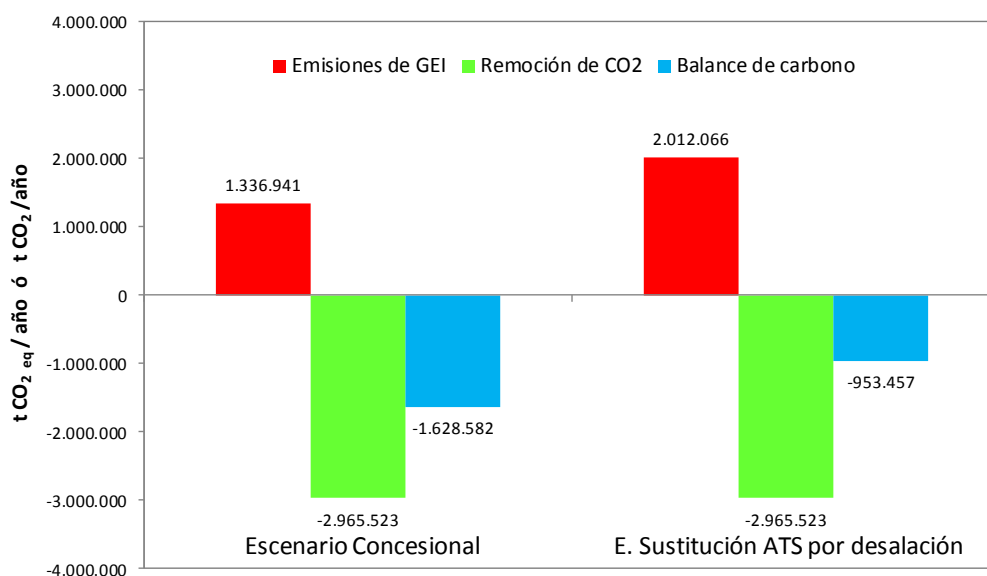


Figura 3. Resultados de emisiones de GEI, remoción de CO₂ y balance de carbono para la superficie la superficie nominal según concesiones de las Zonas Regables del trasvase (133.356 ha), por escenarios.

Finalmente, la Fig.4 muestra para cada escenario los valores medios por hectárea de emisiones de GEI, remoción de CO₂ y balance de carbono para los regadíos asociados al TTS. Se observa que la tasa de emisiones de GEI aumenta conforme aumenta la energía específica del suministro hídrico (Escenario Concesional → Escenario Actual → Escenario de Sustitución del TTS por desalación), mientras que la tasa de remoción de CO₂ se mantiene constante en -22,24 t CO₂/ha-año. Como resultado el balance se va haciendo menos favorable, pasando de -12,21 t CO₂/ha-año en el Escenario Concesional a -7,14 t CO₂/ha-año en el Escenario de Sustitución del TTS por desalación. Cabe destacar que el análisis de esta misma información por UDAs pone de manifiesto como aquellas en las que hay un mayor predominio de los cultivos hortícolas al aire libre (UDA 61, UDA 70 y UDA 71) llegan a perder su condición de sumidero de carbono en el Escenario de Sustitución del TTS por desalación.

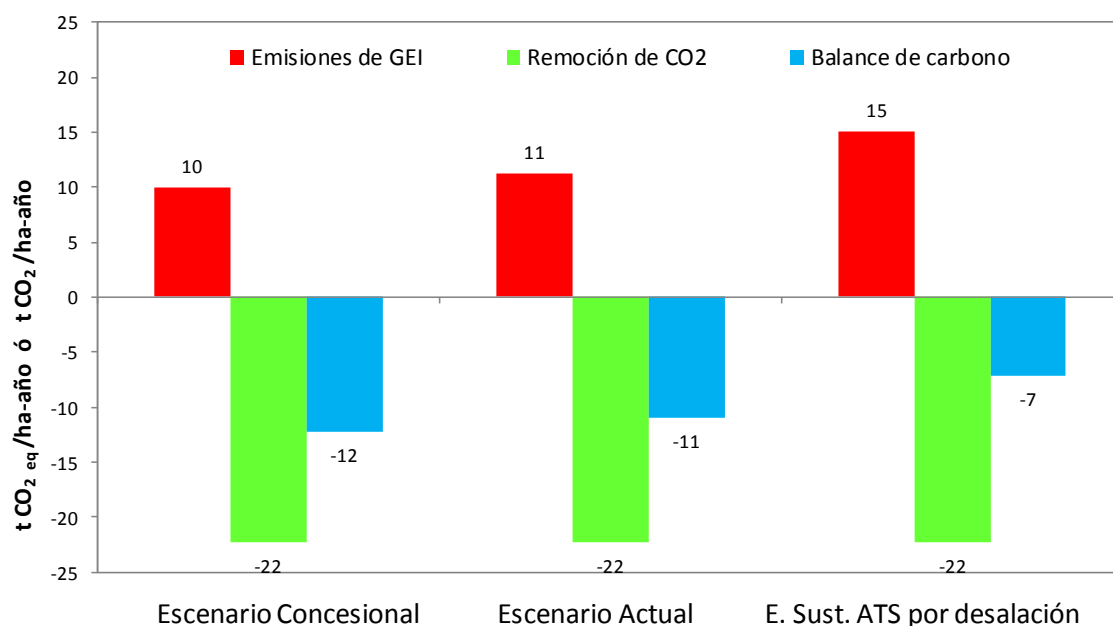


Figura 4. Valores medios por hectárea de emisiones de GEI, remoción de CO₂ y balance de carbono para los regadíos asociada al trasvase Tajo-Segura, por escenarios.

5.- Conclusiones

Las principales conclusiones de este trabajo son:

- Todos los cultivos son sumideros de CO₂, siendo los leñosos son 9 veces más eficientes que los hortícolas.
- El riego supone el 43% de las emisiones de GEI en el escenario actual, y alcanzaría el 57% en el escenario de sustitución del TTS por desalación.
- Las emisiones de GEI aumentarían un 14% al pasar del escenario actual al escenario de sustitución del TTS por desalación.
- El riego 100% con AMD reduciría la capacidad de los cultivos de ser sumideros de CO₂ en un 30% respecto al escenario actual; y un 41% respecto al escenario concesional.
- Las UDAs en las que predominan los cultivos hortícolas serían las más perjudicadas por la sustitución de TTS por AMD.

6.- Agradecimientos

Las distintas actividades necesarias para el desarrollo de este trabajo han sido financiadas por (1) el Ministerio de Economía y Competitividad y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional a través del proyecto RIDESOST (AGL2017-85857-C2-2-R), y (2) por la Cátedra Universidad-Empresa “Trasvase y Sostenibilidad – José Manuel Claver Valderas”, creada por el Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura (SCRATS) y la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT).

7.- Bibliografía

- CEC, Commission of the European Communities, (1999). Directions towards sustainable agriculture. Commission of the European Communities, Bruselas, Países Bajos.
- CHS, Confederación Hidrográfica del Segura, (2015). Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura <https://www.chsegura.es/chs/planificacionydma/planificacion15-21/>.
- CREM, Centro Regional de Estadística de Murcia (2019). http://econet.carm.es/inicio/-/crem/sicrem/PU_datosBasicos/sec49.html
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2006). Guidelines for national greenhouse gas inventories. In: HAS, Eggleston, Biennia, L., Miwa, K., Negara, T., Tanabe, K. (Eds.), Prepared by National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan: Eggleston Published.
- ISO, International Organization for Standardization, 14040 (2006). Environmental management - Life cycle assessment – Principles and framework. ISO, Geneva.
- ISO, International Organization for Standardization, 14044 (2006). Environmental management - Life cycle assessment – Requirements and Guidelines. ISO, Geneva.
- MAPA, Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (2018). Informe Anual de Indicadores 2017: Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 211 pp.
- Martin-Gorriz, B., Martínez-Alvarez, V., Maestre-Valero, J.F. & Gallego Elvira, B. (2020). Balance de carbono de las zonas regables del trasvase Tajo-Segura. Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura, Cátedra Universidad-Empresa “Trasvase y Sostenibilidad – José Manuel Claver Valderas” de la Universidad Politécnica de Cartagena, 57 pp. <http://www.scrats.es/memorias-e-informes.html>
- Martínez-Alvarez, V., Maestre-Valero, J.F., González-Ortega, M.J., Gallego Elvira, B. & Martin-Gorriz, B. (2019). Characterization of the agricultural supply of desalinated seawater in Southeastern Spain. Water 2019, 11, 1233; <http://dx.doi.org/10.3390/w11061233>.
- Melgarejo, J. & Montaña, B. (2009). La eficiencia energética del trasvase Tajo-Segura. Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible, 3, 173-193.
- Soto-García, M., Martin-Gorriz, B., García-Bastida, P.A., Alcon, F. & Martínez-Alvarez, V. (2013). Energy consumption for crop irrigation in a semiarid climate (south-eastern Spain). Energy, 55, 1084-1093. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.034>
- Soto-García, M., Martínez-Alvarez, V. & Martín-Górriz, B. (2014). El regadío en la Región de Murcia. Caracterización y análisis mediante indicadores de gestión. Murcia, 267 pp.
- UN-DSD, United Nations Division for Sustainable Development (2000). Agenda 21. Chapter 14: Promoting sustainable agriculture and rural development. United Nations (UN), Nueva York, Estados Unidos.
- Victoria, F. (2010). Etiquetado de carbono en las explotaciones y productos agrícolas. La iniciativa murciana como sumidero de CO₂. CARM, Murcia, pp. 39–62. <http://www.lessco2.es/documentacion.htm>

INCORPORACIÓN DE PREDICCIONES CLIMÁTICAS Y MEDIDAS DE SENSORES DE HUMEDAD DE SUELO EN EL RIEGO DE PRECISIÓN

Flores Cayuela, C. (1) (P), Camacho Poyato, E., Montesinos Barrios, P.



¹ Dpto. Agronomía, ETSIAM, Universidad de Córdoba. Ed. Leonardo da Vinci, Campus de Rabanales, 14071 Córdoba, g02ficac@uco.es

Introducción

La agricultura es el principal usuario de los recursos hídricos, aproximadamente el 70% de las extracciones totales de agua corresponden al sector agrícola. En Andalucía se prevé un escenario especialmente desfavorable como consecuencia del cambio climático, por lo que es imprescindible implementar sistemas de riego de precisión que mediante el uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) y los datos recogidos por los sensores instalados en campo permitan optimizar los escasos recursos hídricos disponibles. Sin embargo, los datos recogidos por dichos sensores se emplean en el control y la vigilancia, para conocer la respuesta del cultivo al riego aplicado y su análisis y tratamiento se realiza de forma externa e independiente para cada tipo de sensor por lo que aún no se ha extraído todo el potencial de esta tecnología.

Objetivos: Implantar un sistema de riego de precisión en cultivos leñosos basado en predicciones de la evapotranspiración de referencia (ETo) obtenidas a partir de predicciones meteorológicas y en el análisis de los datos recogidos por los sensores de humedad de suelo instalados en campo

Materiales y métodos

1) Esquema de funcionamiento

La Fig.1 muestra la información usada por el modelo para determinar la programación y momento óptimo de riego.



Figura 1 – Diagrama de flujo

3) Decisión de riego

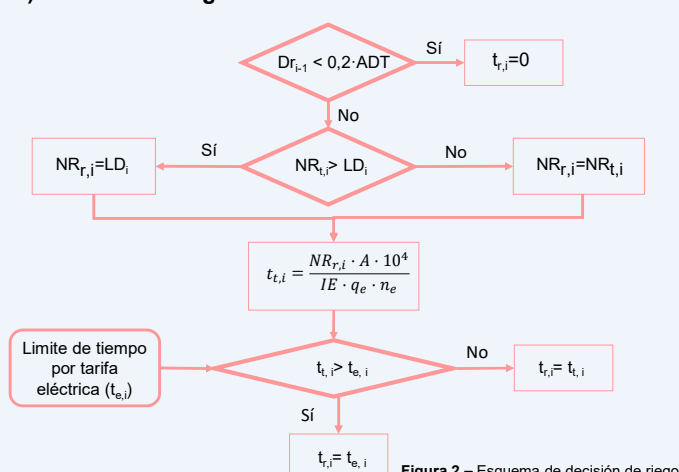
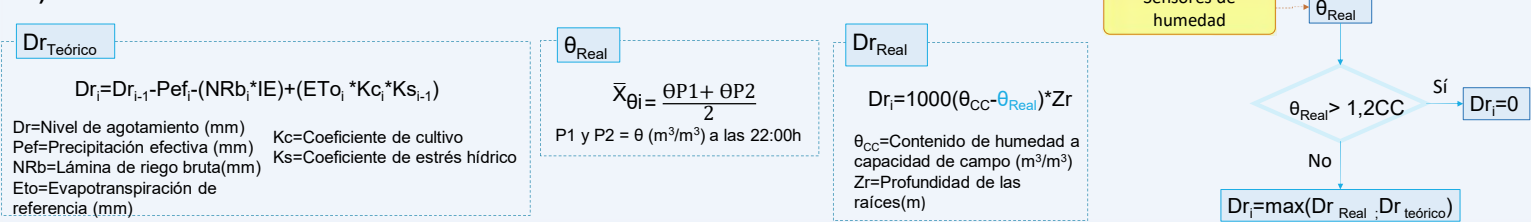


Figura 2 – Esquema de decisión de riego

ADT=Total de agua disponible en el suelo
0,2*ADT= Nivel de agotamiento permisible (NAP)
 $NR_{r,i}$ = necesidades de riego reales (mm)
 LD_i = Límite de dotación diario (mm)
 $t_{r,i}$ = Tiempo teórico de riego requerido (h)
 $t_{r,i}$ = Tiempo de riego recomendado (h)
 A = Área asociada al sector (ha)
 q_e = Caudal del emisor (l/h)
 n_e = Número de emisores del sector
 IE = Eficiencia del riego

2) Uso de los sensores



Resultados



La metodología propuesta se ha aplicado a la programación de riegos de precisión en una finca de naranjo durante la campaña 2019, comparando esta programación con la basada en el cálculo teórico del déficit de humedad en el suelo. La figura 1 muestra la diferencia entre en $Dr_{teórico}$ y el Dr_i corregido con los valores de las sondas y su efecto en la programación del riego. Aunque el $Dr_{teórico}$ baja levemente con el riego real aplicado por el agricultor, sigue siendo superior al NAP por lo que se programan riegos para todos los días, en cambio al incorporar los datos registrados por las sondas tras los riegos se comprueba que la disponibilidad de agua en el suelo es suficiente para cubrir las necesidades del cultivo los próximos 7 días.

Conclusiones

La metodología desarrollada permite optimizar el momento de riego, evitando que se realicen riegos cuando el contenido de humedad en el suelo es suficiente para cubrir las necesidades de la planta, con el consiguiente ahorro tanto de agua como de energía.

AGRADECIMIENTOS:

Este trabajo forma parte del proyecto HUELLA DEL AGUA EN EL SECTOR ECOLÓGICO ANDALUZ, cofinanciado por la Junta de Andalucía y la Unión Europea a través del FEADER



B-08-2020

CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DE LA ELIMINACIÓN DE BORO EN EL AGUA MARINA DESALINIZADA PARA SU USO AGRICOLA

Maestre-Valero J.F. ⁽¹⁾ (P), Jodar-Conesa, F.J. ⁽¹⁾, Acosta-Avilés, J.A. ⁽¹⁾, Martín-Gorrión, B. ⁽¹⁾, Riquelme-Caballero, J.C. ⁽²⁾, Molina del Toro, R. ⁽²⁾, Martínez-Alvarez, V. ⁽¹⁾,

¹Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena, España. E-mail: josef.maestre@upct.es

²Ecohidro Agua y Medio Ambiente Ebt, SL. Pol. Ind. El Arreaque módulo 10, parcelas 4/8 30170 – Mula (Murcia), España. Email: ruben.molina@ecohidro.es

1) Introducción

La escasez de agua en la Cuenca del Segura (Sureste de España) ha dado lugar a la utilización frecuente de agua marina desalinizada (AMD) para el riego. El AMD, aun teniendo una baja conductividad eléctrica, que varía entre 0,36 y 0,90 dS/m, presenta una elevada concentración de sodio, cloruro y boro. El boro es un nutriente esencial para los cultivos, puesto que tiene funcionalidad estructural y además está relacionado con la división, el crecimiento celular, la germinación y la regulación hormonal, entre otros. Sin embargo, la barrera entre la concentración a la que es adecuado y a la que puede ser tóxico para los cultivos es muy estrecha, especialmente para cultivos sensibles como los cítricos. La concentración de boro en el AMD suele superar los umbrales de toxicidad de los cultivos leñosos. En estos cultivos, la toxicidad por boro puede dañar las plantas y afectar a la producción y a la calidad de la cosecha. En la actualidad existen una gran variedad de métodos de eliminación de boro (De la Fuente García-Soto, 2000) entre los que destaca su separación por membranas de ósmosis inversa. La ósmosis inversa no presenta ninguna selectividad específica por el boro y por lo tanto produce un agua prácticamente desmineralizada. En Chillón Arias (2009) se presentan las variables más importantes que afectan a la eficiencia en la eliminación del boro. Por un lado, el pH es si cabe el factor más influyente pues un incremento de pH por encima de 9 transforma el ácido bórico (H_3BO_3) en borato (BO_3^{3-}). El H_3BO_3 tiene hidrógenos ácidos y no tiene carga, por lo tanto, es capaz de formar enlaces con los grupos activos de las membranas mediante puentes de hidrogeno y atravesarlas. Sin embargo, el ion BO_3^{3-} no es capaz de formar enlaces con los grupos activos de las membranas y por lo tanto es más retenido por estas. En segundo lugar, la temperatura del agua afecta a la difusión de agua e iones disueltos a través de la membrana semipermeable. Duman y Özmetin (2014) evidenciaron que la tasa de reducción de boro en el agua permeada en función de la temperatura es de casi un 1% por cada grado centígrado. Este es el motivo por el cual los cambios de temperatura del agua pueden generar variaciones en el flujo de tratamiento y se pueden compensar mediante el ajuste de la presión del agua de entrada. Además, la presencia de otras sales disueltas en el agua a tratar influye en la ionización del H_3BO_3 . Se ha comprobado que para conseguir la ionización del 50% del ácido bórico en aguas de baja salinidad, es necesario incrementar el pH hasta 9,5 (Glueckstern et al., 2003). La composición química de las membranas es otro de los factores a considerar. En este sentido, en la actualidad existen membranas para el tratamiento

de aguas con un rechazo de sales totales disueltas de hasta el 99,8% y rechazos de boro del 91 al 93% (Taniguchi et al., 2004). Finalmente, el paso de agua a través de una membrana semipermeable depende del gradiente de presiones a ambos lados de esta, y el paso de sales se encuentra en función del gradiente de concentraciones. A medida que se incrementa la presión, aumenta la conversión (cociente del caudal de agua producto entre el caudal de agua bruta) y además, la eficiencia de eliminación de boro en el agua. (Cengeloglu et al., 2008; Duman y Özmetin, 2014)

En este contexto, el objetivo de este estudio es caracterizar, desde un punto de vista técnico y energético, la reducción en parcela de la concentración de boro en AMD mediante el empleo de membranas de osmosis inversa.

2) Materiales y métodos

2.1) Sistema de reducción de boro por membranas de osmosis inversa

El ensayo experimental se ha llevado a cabo en Torre Pacheco – Murcia (37°47'30" N; 1°03'85" O). El equipo implementado para reducir la concentración de boro en el AMD (Modelo: Hidropure ZOX1; EcoHidro Agua y Medio Ambiente EBT S.A) se basa en la separación del boro por membranas de osmosis inversa. El sistema, compuesto por seis bastidores de osmosis inversa, tiene una potencia instalada de 3,87 kW, opera a una presión de 7,5 bar una vez alcanzado el régimen estacionario y permite un caudal de tratamiento máximo de 1,47 m³/h. Las membranas instaladas (Modelo: CPA7-LD 4040), permiten una reducción de sales máxima de 99,8% a una temperatura de operación de 25 °C dentro de un rango de pH de 6,5-7,0. El equipo dispone además de dos depósitos de 50L, uno de ellos para el almacenamiento de una solución de hidróxido de sodio empleada para incrementar el pH del agua previo a su entrada en las membranas y el otro para el almacenamiento de solución antiincrustante al objeto de preservar la vida útil y la eficiencia de las membranas. Los caudales de inyección de hidróxido de sodio y antiincrustante fueron de 1,5 y 0,5 L/h, respectivamente. La Figura 1 muestra una imagen del equipo de reducción de boro instalado para el ensayo experimental.



Figura 1. Equipo de reducción de boro en el agua de riego basado en la implementación de membranas de osmosis inversa (izquierda: parte frontal;

derecha: parte posterior). Proyecto Retos-Colaboración SEARRISOST–RTC–2017-6192-2.

2.2) Proceso de reducción y monitorización

En el equipo de reducción de boro, el agua se obtuvo por un bombeo de alimentación de un depósito de regulación que aseguró el suministro de AMD con altas concentraciones en boro (≈ 1 ppm). Tras el bombeo de alimentación el AMD se sometió al ajuste de pH mediante la inyección automática de una solución de hidróxido de sodio a razón de 1,5 l/h. A continuación, el agua se filtró en un lecho de zeolita y posteriormente en cartuchos de carbón activo. Previo a la entrada del agua a este último filtro, se determinó el pH mediante un electrodo REDOX calibrado. A la salida del filtro de carbón activo, otra bomba dosificadora se encargó de inyectar el antiincrustante a razón de 0,5 l/h. Tras este pretratamiento, el agua se impulsó mediante un bombeo eléctrico regulado por un variador de frecuencia, hacia los bastidores de osmosis inversa que, tras el proceso de filtrado, permitió obtener agua producto con reducida concentración de boro (0,2 ppm) y agua de rechazo (boro ≈ 3 -4 ppm). La Figura 2 muestra un diagrama del proceso descrito.

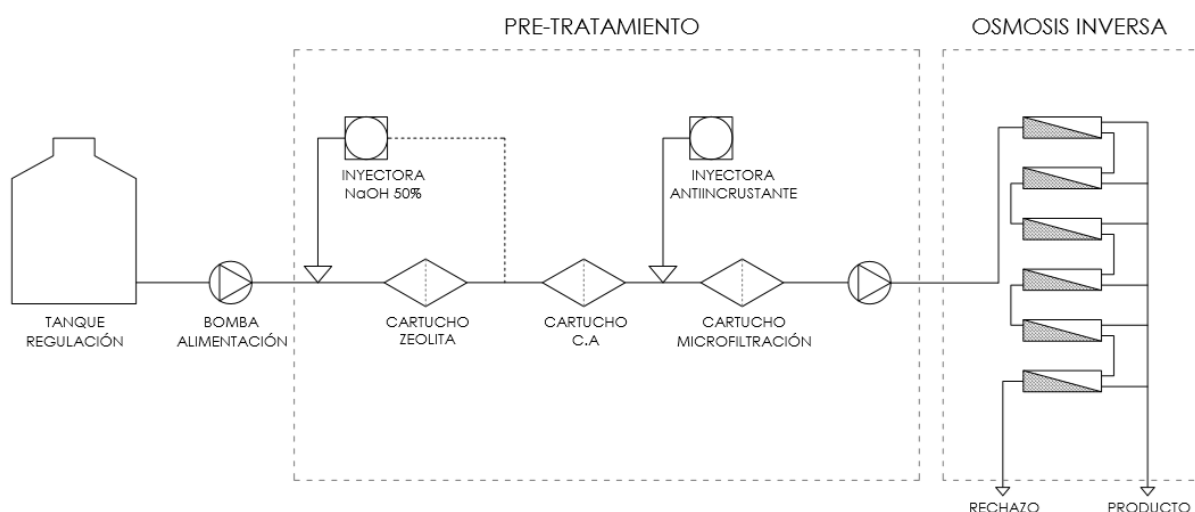


Figura 2. Diagrama de flujo de corrientes del sistema de osmosis Inversa descrito para la reducción del boro en el agua marina desalinizada. Proyecto Retos-Colaboración SEARRISOST–RTC–2017-6192-2.

Al objeto de evaluar la eficiencia técnica y energética del equipo de reducción de boro se realizaron dos tipos de test. El primero de ellos, en el que se realizaron ocho pruebas, se evaluó a pH y presión constantes ($\text{pH} = 10,3 \pm 0,5$ y Presión = $7,5 \pm 0,1$ bar) el efecto de la temperatura del AMD sobre los caudales tratados, el AMD con reducida concentración de boro y el rechazo y la eficiencia en la reducción del boro. En el segundo test se realizaron cinco pruebas a pH y temperatura constantes ($\text{pH} = 10,1 \pm 0,2$ y Temperatura del AMD = $17,4 \pm 0,5$ °C) y se evaluó el efecto de la presión sobre los caudales tratados, el AMD con reducida concentración de boro y el rechazo. Cada test, duró 10 minutos y consistió en (i) arranque del equipo de reducción de concentración de boro, (ii) monitoreo del proceso a 1 minuto, 5 minutos y 10 minutos tras el arranque y (iii) toma de muestras de AMD, AMD con reducida concentración de boro y agua de rechazo.

Para la caracterización técnica, se determinaron para cada una de las fases de funcionamiento del equipo (1, 5 y 10 minutos) las siguientes variables: (i) caudal de AMD a la entrada del equipo de reducción de boro, (ii) caudal de agua producto, (iii) caudal de agua de rechazo, (iv) pH mediante un pHmetro CRISON GLP21, (v) conductividad eléctrica mediante un conductímetro CRISON GLP31, (vi) tensión de la red eléctrica, (vii) intensidad de cada fase mediante una pinza amperimétrica, (viii) presión de trabajo y (ix) temperatura del agua. Adicionalmente, las muestras de agua (AMD, AMD con reducida concentración de boro y agua de rechazo) recogidas en la etapa de proceso comprendida entre 5-10 minutos (régimen de funcionamiento estable), se analizaron mediante plasma acoplado inductivamente (ICP-MS Agilent Technologies, Modelo 7900, Santa Clara, CA, EE. UU.) para determinar la concentración de boro y la eficiencia del equipo en su reducción. Los consumos de energía (kW·h) se valoraron económicamente teniendo en cuenta un coste medio del kW·h de 0,08 € de acuerdo a factura eléctrica.

3) Resultados y discusión

En el primer ensayo, que consistió en ocho test a pH y presión constantes y una variación de la temperatura del AMD entre 12 y 18 °C (Figura 3), no se observó efecto de la misma sobre los caudales tratados que oscilaron entre 1,06 y 1,21 m³/h (entre 0,71 y 0,86 m³/h de AMD producto; *i.e.* aproximadamente el 70% y 0,35 m³/h de rechazo; *i.e.* aproximadamente el 30%). Este resultado fue contrario a lo observado por otros autores quienes detectaron incrementos significativos del caudal tratado asociados a incrementos de temperatura (Fregel et al., 2015). Esta diferencia podría explicarse por el reducido rango de temperaturas en este estudio (de 12 a 18 °C) comparado al experimentado por Fregel et al. (2015) (de 21 a 34,3 °C).

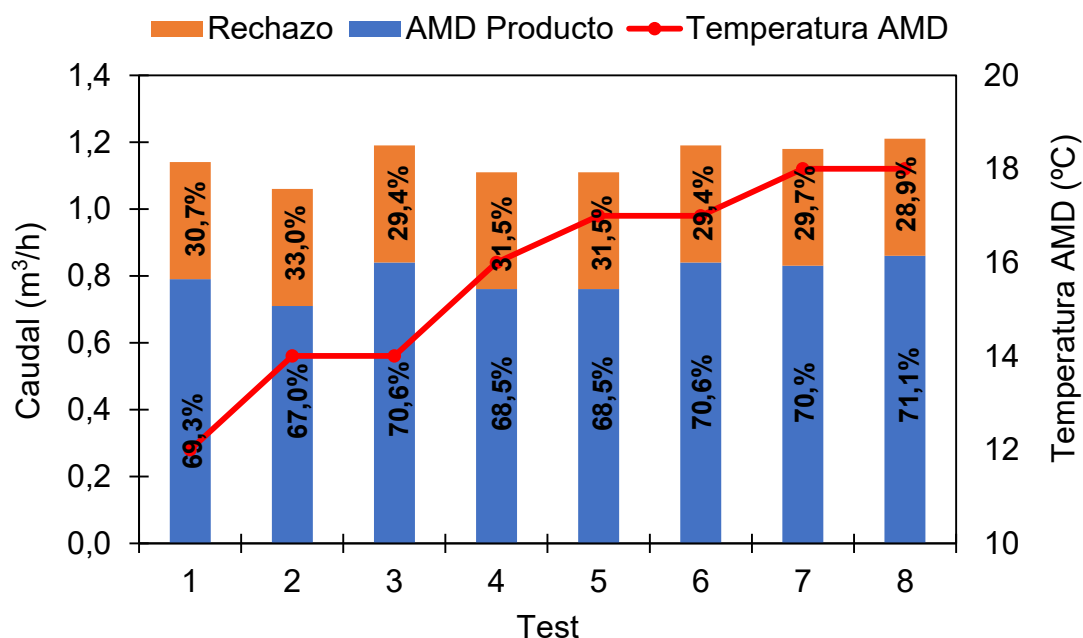


Figura 3. Efecto de la temperatura del agua marina desalinizada en los caudales tratados, de agua marina desalinizada con baja concentración de boro y de agua de rechazo. Ensayo realizado a pH y presión constantes (pH = 10,3±0,5 y Presión = 7,5±0,1 bar).

En este primer ensayo, la concentración media de boro en el AMD fue de $879,3 \pm 226,0$ ppm y en el agua de rechazo de $216,8 \pm 33,5$ ppm. El incremento de temperatura del AMD produjo una reducción notable en la eficiencia en la reducción del boro como se puede observar en la Figura 4. En este sentido, por cada incremento de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, se observó una disminución de la eficiencia de reducción de boro de un 2%, valor que fue ligeramente superior a los observados por Duman y Özmetin (2014). Para temperaturas entre 12 y $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ la reducción media del boro fue de $77,9 \pm 3,4\%$ mientras que para temperaturas entre 17 y $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ la reducción media del boro fue de $68,5 \pm 5,3\%$ (Figura 4). Además, es importante resaltar el hecho de que un incremento de la temperatura del agua de 12 a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un agua con una misma concentración inicial de boro (1019 ppm) redujo considerablemente la eficiencia de reducción de boro (de $75,1\%$ a $61,8\%$) (Figura 4). Este resultado fue también observado en otros estudios (Fregel et al., 2015).

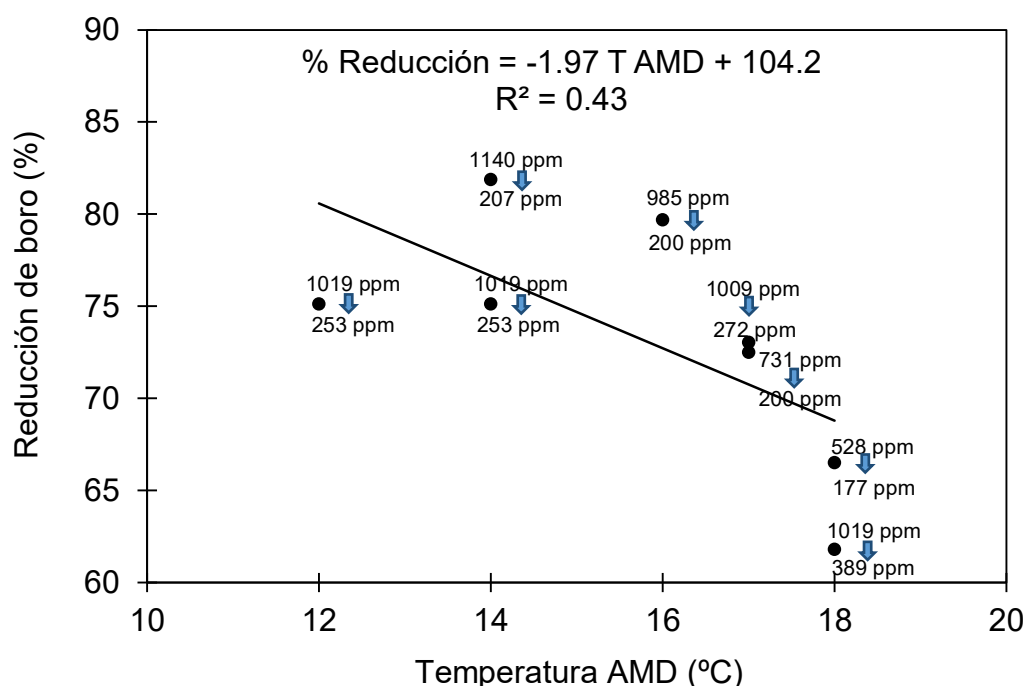


Figura 4. Efecto de la temperatura del agua marina desalinizada sobre el porcentaje de reducción de boro. Ensayo realizado a pH y presión constantes (pH = $10,3 \pm 0,5$ y Presión = $7,5 \pm 0,1$ bar).

Con respecto al estudio del efecto de la variación de la presión (entre 7 y 9 bar) en el caudal del AMD tratado, a pH y temperatura constantes, los resultados indicaron una relación lineal, de modo que el incremento de caudal fue directamente proporcional al incremento de presión (Figura 5) (Cengeloglu et al., 2008). La relación observada, *caudal de AMD tratada* = $0,14$ Presión + $0,14$, presentó un elevado coeficiente de correlación, R^2 , de 99,5%. A pesar de que los incrementos de presión supusieron un aumento de la energía consumida, el incremento de caudal tratado asociado propició que no se detectaran diferencias en el consumo de energía específico ($\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$) con estos incrementos de presión (Figura 5).

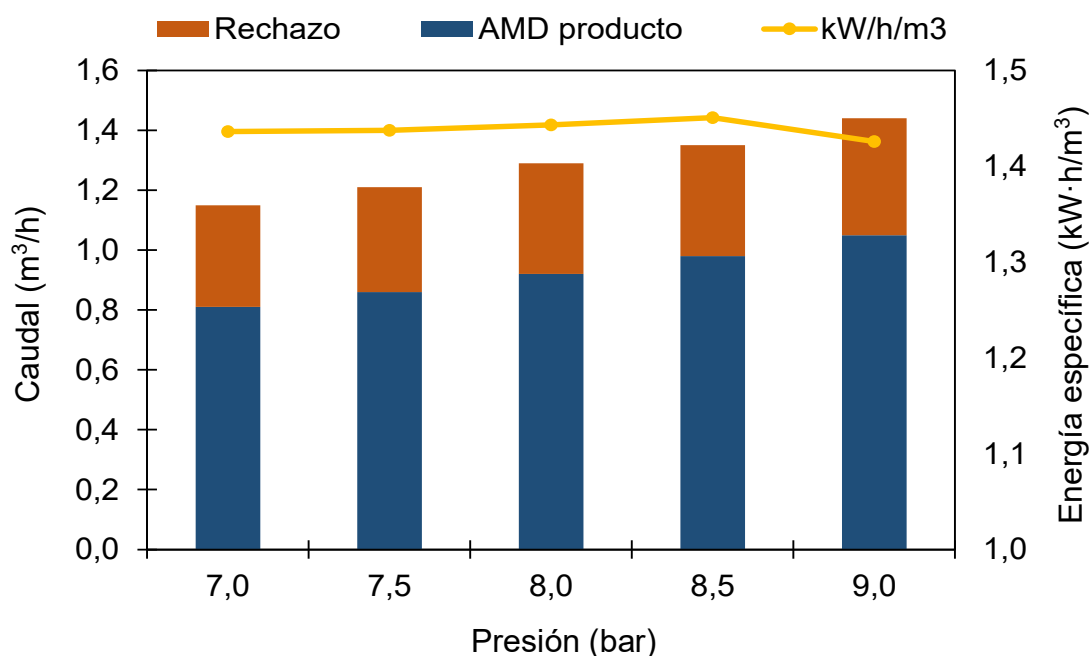


Figura 5. Efecto de la presión sobre los caudales tratados, de agua marina desalinizada con baja concentración de boro y agua de rechazo y sobre la energía específica consumida. Ensayo realizado a pH y temperatura constantes ($\text{pH} = 10,1 \pm 0,2$ y Temperatura del AMD = $17,4 \pm 0,5$ °C).

El incremento de la presión produjo un incremento en la eficiencia de la reducción de boro (Cengeloglu et al., 2008), aunque los resultados presentaron cierta histéresis y por lo tanto es necesario continuar con los ensayos al objeto de reunir una base datos más extensa (Figura 6). En este segundo ensayo la concentración media de boro en el AMD fue 1019,1 ppm y en el agua de rechazo $304,9 \pm 67,4$ ppm (Figura 6).

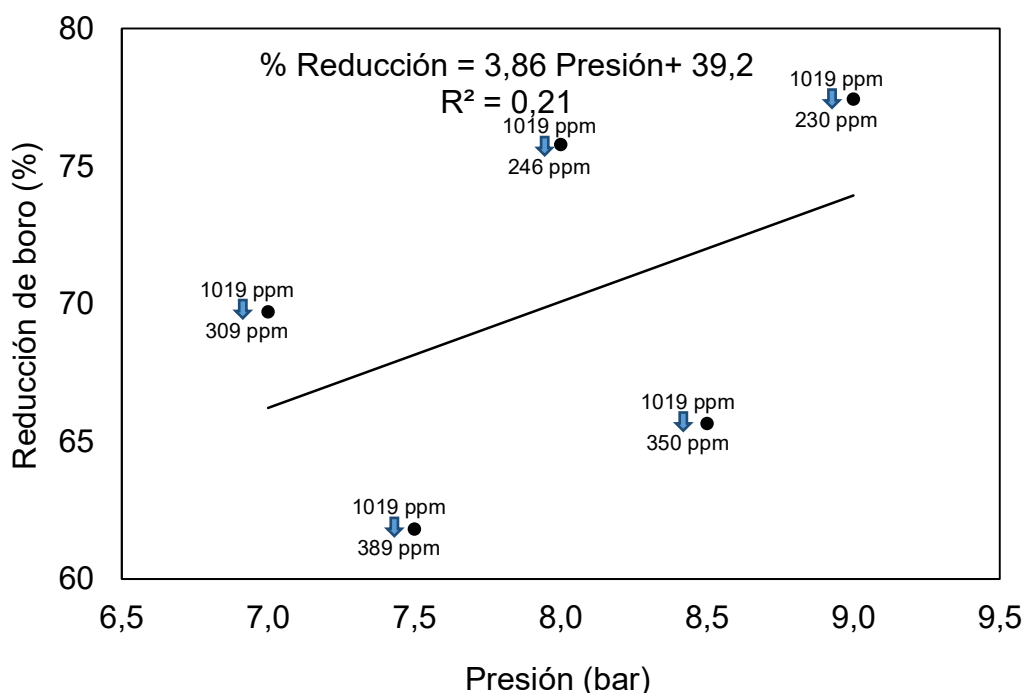


Figura 6. Efecto de la presión sobre el porcentaje de reducción de boro. Ensayo realizado a pH y temperatura constantes (pH = $10,1 \pm 0,2$ y Temperatura del AMD = $17,4 \pm 0,5$ °C).

Finalmente, el coste económico de la energía necesaria para la reducción del boro en el AMD mediante un equipo de membranas de osmosis inversa en parcela, valorando el coste del kW·h a 0,08 € (datos extraídos de la factura del regante excluyendo el término de potencia), fue de 0,12 €/m³.

5) Conclusiones y recomendaciones

Este estudio evalúa, desde un punto de vista técnico y energético, la reducción en parcela de la concentración de boro en agua marina desalinizada (AMD) mediante el empleo de membranas de osmosis inversa. A diferencia de otros estudios publicados, el incremento de temperatura, a pH y presión constantes, no ha producido efectos sobre el caudal del AMD tratado, circunstancia que se explica por el rango estrecho de variación de temperatura (12 – 18 °C). Sin embargo, cada incremento unitario de temperatura ha producido una reducción de un 2% en la eficiencia de reducción del boro. El incremento de presión, a pH y temperatura constantes, ha producido un aumento de los caudales de AMD tratados y de agua producto. Un incremento unitario de presión ha significado un aumento del 4% en la eficiencia en la reducción del boro. El estudio económico sobre el consumo energético asociado a la reducción del boro ha mostrado un coste de reducción del boro de 0,12 €/m³.

Actualmente los ensayos y analíticas se encuentran en desarrollo dentro del marco del proyecto Retos-Colaboración SEARRISOST–RTC–2017-6192-2. Es por lo tanto recomendable continuar con la adquisición de datos mediante la realización de más pruebas al objeto de ampliar el abanico de condiciones de temperatura, presión y concentración del boro en el AMD. Además, en futuros trabajos es conveniente incluir en el estudio económico el coste de la inversión en el equipo y el resto de

costes de operación al objeto de obtener un valor más real del coste de reducción del boro por cada m³ de AMD tratada,

6) Agradecimientos

El estudio agradece la financiación a través del proyecto Retos-Colaboración SEARRISOST–RTC–2017-6192-2 financiado con fondos de la Agencia Nacional de Investigación y del Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

7) Bibliografía

- Azcón Vieto, J., & Talón, M. (2008). *FUNDAMENTOS DE FISIOLÓGÍA VEGETAL*. Madrid: Universidad de Barcelona.
- Cengeloglu, Y., Arslan, G., Tor, A., Kocak, I., & Dursun, N. (2008). *Removal of boron from water by using reverse osmosis*. Selcuk University, Department of Chemistry, Department of Environmental Engineering and Department of soil. Konya, Turquía: Elsevier.
- Chillón Arias, M. F. (2009). *Reducción de boro en aguas procedentes de desalación*. Universidad de Alicante, Departamento de Ingeniería Química, Alicante.
- De la Fuente García-Soto, M. d. (2000). *Diseño y desarrollo de un sistema de tratamiento para la eliminación de boro en vertidos industriales*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Duman, M. V., & Özmetin, E. (2014). *Boron removal from waste water originating in the Open Pit Mines of Bigadiç Boron work by means of reverse osmosis*. Cagis Campus, Balikesir University, Departament of Environmental Engineering, Bigadiç.
- Glueckstern, P., & Priel, M. (2003). Optimization of boron removal in old and new SWRO systems. *Desalination*.
- Taniguchi, M., Fusaoka, Y., Nishikawa, T., & Kurihara, M. (2004). *Boron removal in seawater RO desalination*. Toray Industries, Inc.

B-09-2020

DOI:10.31428/10317/8707

COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN FILTRO DE ARENA CON BRAZOS COLECTORES PARA INSTALACIONES DE RIEGO POR GOTEO

Pujol, T.¹, Puig-Bargués, J.², Arbat, G.² (P), Duran-Ros, M.², Solé-Torres, C.², Pujol, J.², Ramírez de Cartagena, F.²
¹ Departamento de Ingeniería Mecánica y de la Construcción Industrial, Universidad de Girona. toni.pujol@udg.edu

² Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria. Universidad de Girona. gerard.arbat@udg.edu

Introducción

- La dinámica de fluidos computacional (CFD) permite estudiar hidrodinámicamente distintos equipos de riego como los filtros.
- ➔ **Objetivo:** analizar el comportamiento de un filtro de arena con drenaje de brazos colectores mediante CFD para identificar mejoras de diseño.

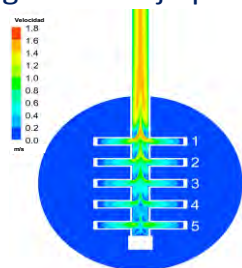
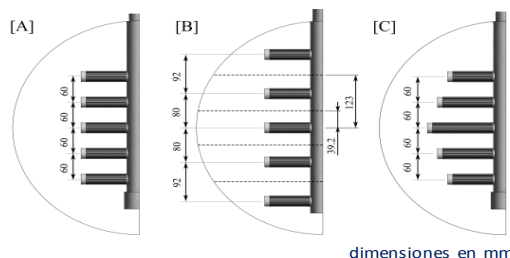
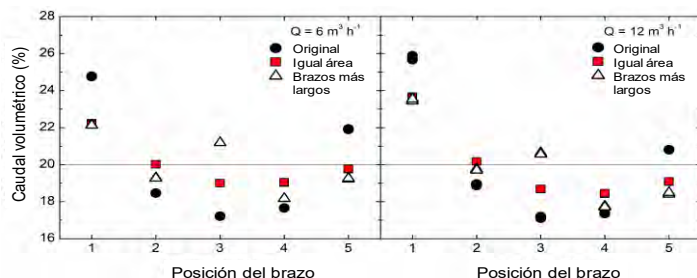


Material y métodos

- Experimentos con filtro comercial de 500 mm de diámetro interno con 10 brazos colectores.
- Filtro relleno con arena silíceá de 0,48 mm de diámetro efectivo.
- Dos alturas de lecho estudiadas: 200 y 300 mm.
- Dos caudales estudiados: 6 y 12 m³/h.
- Determinación experimental del caudal y de la caída de presión en el filtro.
- Utilización del código Fluent, con modelo de turbulencia k- ω .
- Mallado diferencial por zonas, calibración del modelo y análisis de sensibilidad.



Resultados y discusión

Filtro original [A]: distribución desigual del flujo por brazo.

2 diseños alternativos: [B] brazos con igual área superficial y [C] brazos centrales más largos.

Mejora en la proporción del caudal por brazo


- ✓ Caudal más uniformemente distribuido con el diseño [B] para los 2 caudales estudiados.
- ✓ Los nuevos diseños consiguen, además, una reducción de caída de presión del 4,3-5,8% [B] y del 3,8-5,2% [C].

Conclusiones

- ➔ El diseño actual presenta diferencias de caudal del 44-51% entre brazos colectores.
- ➔ Distribuyendo los brazos para que sirvan una misma área superficial se consiguen reducir estas diferencias al 17-28% en función del caudal.

B-10-2020

AJUSTE DEL CÁLCULO DE LAS DOTACIONES DE LOS HIDRANTES A LA GEOMETRÍA DE LAS PARCELAS

*Goicoechea Iriarte, F.(1) (P), Ederra Gil, I.(2), Puig Arrastia, J., (3), Campo-Bescós, M.A. (4),
Pérez Garciandía, D. (5) Javiera Cirauqui Lacarra (6)*

¹Estudiante, Universidad Pública de Navarra, Pamplona, fermingoico.i@gmail.com

²Directora de explotación de la Ampliación de la 1ª Fase de la zona regable del Canal de Navarra, INTIA, Villava, Navarra. iederra@intiasa.es

³Subdirector de INTIA, Villava, Navarra. jpuig@intiasa.es

⁴Profesor, Universidad Pública de Navarra, Departamento Ingeniería, Pamplona, miguel.campo@unavarra.es

⁵Técnico de explotación de la Ampliación de la 1ª Fase de la zona regable del Canal de Navarra, INTIA, Villava, Navarra. dperez@intiasa.es

⁵Operadora de explotación de la Ampliación de la 1ª Fase de la zona regable del Canal de Navarra, INTIA, Villava, Navarra. jcirauqui@intiasa.es

Resumen

Este estudio se desarrolla en el sector de riego XXIV de la Ampliación de la 1ª Fase del Canal de Navarra (España). Dicha ampliación forma parte del sistema Itoiz – Canal de Navarra, que recorre la comunidad foral abasteciendo de agua de boca y de riego a una multitud de localidades. Una característica que define a dicho sector es la complicada geometría de sus unidades de riego. El proceso de construcción de esta ampliación sigue el siguiente orden, en primer lugar, el dimensionamiento de los hidrantes que suministrarán caudal a las parcelas y posteriormente la instalación de dichas parcelas. En el sector XXIV, una vez ejecutadas las instalaciones de parcela se ha comprobado que la demanda de caudal de ciertas unidades de riego (UURR) es superior a las dotaciones asignadas previamente en el diseño de la red general. Esto provoca un descenso en la uniformidad y eficiencia del riego en la parcela. En el presente trabajo se plantea relacionar la demanda de caudal de las UURR con su geometría, de forma que la dotación del hidrante se ajuste a la demanda real. La geometría de la unidad de riego se relaciona a su vez con la proporción de aspersores sectoriales, de mayor pluviometría que los circulares, instalados en el contorno de la unidad de riego. Para ello, se calcula un coeficiente de mayoración por efecto borde para una muestra representativa de diseños de instalaciones de riego por aspersión, y se vincula con un parámetro de geometría obtenido para cada una de estas UURR. De esta forma, se obtiene una fórmula aplicable a cualquier UR cuya dotación se desee conocer.

1. Introducción y objetivos del trabajo

Este trabajo se desarrolla en la Comunidad Foral de Navarra (España), donde se sitúa el embalse de Itoiz, construido para abastecer de agua el Canal de Navarra. El Canal de Navarra es un proyecto cuya financiación, construcción y explotación es compartida entre el Gobierno de España y el Gobierno de Navarra con el objetivo, entre otros, de realizar una transformación en regadío de 53.125 hectáreas. Para ello crearon, en enero del año 2000 la sociedad estatal "Canal de Navarra S.A." con una participación del 60% Estado y 40% Gobierno de Navarra (CANASA, 2000).

En la actualidad se han puesto en riego, a través de concesiones (contratos entre la empresa pública INTIA como concedente y las empresas privadas AGUACANAL y AGUAS DE NAVARRA como concesionarios), en una primera fase, 22.404 hectáreas y 6.361 hectáreas más en su ampliación, repartidas en 25 sectores de riego (Sectores I, II.1, II.2, III, IV.1, IV.2, IV.3, IV.4, IV.5, V; VI, VII, VIII, IX; X, XXII-Arga 1A, XXII-Arga 1B, XXII-Arga 2, XXII-Arga 3, XXII-Arga 5, XXII-Arga 6, XXIII, XXIV; XXV y XXVI-Ega 1)

Dentro de la zona regable del Canal de Navarra, el estudio se realiza en la Ampliación de la 1ª Fase del Canal de Navarra, concretamente en el sector XXIV. Una característica peculiar del sector XXIV con respecto al resto de los sectores de riego es la geometría irregular de sus UURR¹. Se trata de una zona con una topografía complicada y con muchas zonas de alto valor ambiental, por lo que, en la fase de concentración parcelaria no fue posible que las UURR tuviesen las habituales formas cuadradas o rectangulares.

Como ya se ha comentado, la Ampliación de la 1ª Fase del Canal de Navarra se ha desarrollado a través de un sistema concesional. En esta zona regable, la sociedad concesionaria es Aguas de Navarra S.L., participada por OHL (65%) y Aguas de Barcelona (35%). Esta empresa financia y construye las infraestructuras de Interés General, y las explota durante 30 años. Las infraestructuras de Interés General son aquellas necesarias para transportar y distribuir el agua desde el Canal hasta las UURR de cada regante, incluyendo los hidrantes, a los que se les asigna una dotación estimada según la superficie de la UR.

La empresa concesionaria explota y mantiene dichas infraestructuras a lo largo de 30 años, tiempo durante el cual, el Gobierno de Navarra a través del Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias S.A (INTIA) como empresa concedente, abona una retribución mensual por el coste de construcción de dichas infraestructuras, que se une a la retribución abonada por los regantes en base al canon de explotación.

Con el fin de asegurarse de que la empresa concesionaria realiza su trabajo correctamente y otorga un servicio óptimo a los regantes, el Gobierno de Navarra aplica una serie de deducciones condicionadas al adecuado funcionamiento de las infraestructuras, basadas en unos indicadores descritos en el Pliego de Preinscripciones Técnicas para la Explotación (PPTe) del contrato.

Una vez han sido dimensionadas y construidas las redes de interés general por la empresa concesionaria, los propietarios de las UURR contratan a su elección a un instalador particular que diseña y construye su instalación de riego en parcela. Estos instaladores deberán atenerse al caudal de consigna que ha sido asignado

¹ Unidad de riego: se define como una superficie de un valor igual o superior a 5 hectáreas que permite un diseño racional de las instalaciones de riego en parcela (Ley Foral 1/2002, de 7 de marzo de Infraestructuras Agrícolas)

como dotación del hidrante de su UR. En el diseño de las instalaciones de riego por aspersión con un marco de riego 15 × 18 m (15 metros entre líneas y 18 metros entre los aspersores de la línea) habitual en estos lares, se utilizan dos tipos de aspersores: circulares y sectoriales. Los circulares con boquillas de 4,4 y 2,4 mm emiten un caudal de 1.800 l/h a una presión en boquilla de 35 mca, lo que supone una pluviometría de 6,67 l/(m²×h). Los aspersores sectoriales se instalan en los bordes de la UR y aplican una pluviometría de 8,15 l/ (m²×h), ya que se estima que disponen de una boquilla de 4mm y de un caudal de 1.100 l/h a una presión en boquilla de 35 mca. Se debe tener en cuenta que la superficie regada por cada uno de estos aspersores sectoriales es la mitad que en los circulares.

Siguiendo este proceso y al igual que en el resto de los sectores de riego, en el sector XXIV el concesionario, con la supervisión de INTIA, ha dimensionado y construido las redes de interés general calculando una dotación para los hidrantes de este sector en función de la superficie de las UURR.

El problema ha surgido cuando una vez construidas las infraestructuras de interés general y las instalaciones de riego en parcela, se ha constatado que el caudal demandado es superior al que son capaces de suministrar los hidrantes.

Como ya se ha comentado, el sector XXIV es peculiar en cuanto a la geometría irregular de sus UURR, y este trabajo trata de vincular esta peculiaridad con los mayores requerimientos para regar eficientemente estas UURR con morfologías que se salen de lo habitual.

Por tanto, el objetivo final de este estudio es:

- **Establecer una fórmula de cálculo de las dotaciones de los hidrantes que considere la geometría de las unidades de riego además de su superficie.**

2. Descripción

En primer lugar, se detallan las características de la zona de estudio, para pasar posteriormente a desarrollar la metodología y los materiales utilizados.

2.1. Zona de estudio

El análisis realizado en este trabajo se centra en el sector XXIV (Figura 1), que transforma de secano a regadío una superficie de 1.713 hectáreas y un total de 283 hidrantes que suministran agua a UURR, en algunos casos con inusuales y complicadas geometrías, de los municipios de Larraga y Mendigorriá. Hoy, tras dos años en explotación, se encuentran en servicio 199 hidrantes (el 68% del sector).

Además, se analizarán UURR del sector XXII-Arga 5 (Figura 2) para asegurar que la fórmula final se adapta a todo tipo de UURR. Este sector pertenece, al igual que el sector XXIV, a la zona regable de la Ampliación de la 1ª Fase del Canal de Navarra. La forma de sus UURR corresponde a la habitual tras los procesos de concentración parcelaria obligatorios en estas actuaciones, con una geometría altamente regular y los caudales que requieren no se desvían de los suministrados por los hidrantes. El sector XXII-Arga 5, de 693 hectáreas y 110 hidrantes, es el resultado de la modernización del regadío tradicional del municipio navarro de Funes.

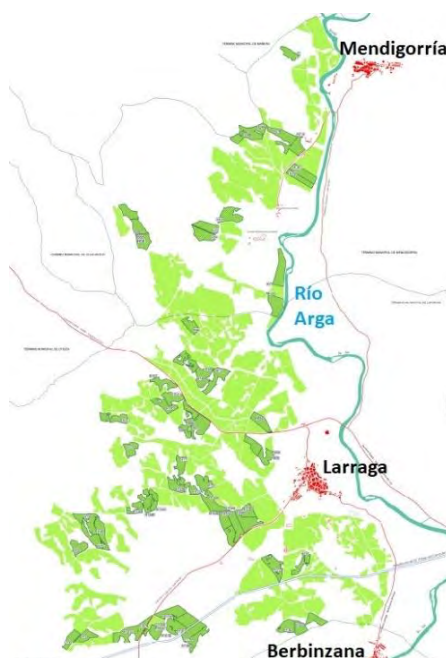


Figura 1: Sector XXIV de la Ampliación de la 1ª Fase del Canal de Navarra. En un tono más oscuro, las Unidades de Riego estudiadas en el proyecto



Figura 2: Sector XXII-Arga 5 de la Ampliación de la 1ª Fase del Canal de Navarra. En un tono más oscuro, las Unidades de Riego estudiadas en el proyecto

2.2. Nuevos coeficientes de efecto borde

En el cálculo de las dotaciones de los hidrantes de los sectores construidos de la Ampliación de la 1ª Fase del Canal de Navarra, INTIA utiliza una fórmula empírica (1) que ha desarrollado en base a 35 años de experiencia y a alrededor de 70.000 hectáreas transformadas o modernizadas en Navarra a sus espaldas:

$$Q_i (l/s) = (S_i / 7) \times (6,67 / 3.600) \times 1,075 \quad (1)$$

Donde:

- S_i : Superficie de cada Unidad de Riego (UR) en m².
- 7: N.º de sectores en que de forma general se dividen las unidades de riego. El motivo por el que se dividen en 7 sectores es poder regar la UR evitando las horas del día con más viento, además de que haya un margen de tiempo por

posibles problemas y averías en las condiciones de máxima necesidad del cultivo. En las condiciones de mayores necesidades de riego (con maíz en el mes de julio) son necesarios 54,78 l/m² semanales. Con una pluviometría de 6,67 l/(m²×hora), son necesarias 8,22 h de riego por semana en cada sector.

- 6,67: Pluviometría, en l/(m²×hora) de los aspersores circulares. “Ya explicado en la introducción”
- 1,075: Coeficiente de mayoración de la pluviometría por el efecto borde, estimando que el porcentaje de aspersores sectoriales, con una pluviometría de 8,15 l/(m²×hora), que se instala en una UR se encuentra entre el 30 y el 35%, adimensional.

Como se puede observar, esta ecuación contempla únicamente una variable, que es la superficie de la UR a la que se va a suministrar el caudal. Con el fin de que el cálculo de la dotación del hidrante se ajuste de forma más precisa a los requerimientos, se analiza el coeficiente de mayoración por efecto borde utilizado. Este coeficiente se basa en que todos los sectores de una UR regular van a tener el mismo porcentaje de aspersores sectoriales respecto al total. Esto no es así, fundamentalmente en UURR irregulares.

Por este motivo se analiza, en primer lugar, el número de aspersores circulares y sectoriales y, en segundo lugar, la pluviometría de los aspersores sectoriales de 78 UURR diseñadas por 4 profesionales diferentes. Se calcula un nuevo coeficiente de mayoración de efecto borde para cada una de ellas. De estas 78 UURR analizadas, 47 pertenecen al sector XXIV, que se han visto afectadas por el problema ya mencionado de desajuste de caudales, y 31 al sector XXII-Arga 5, que se utiliza como control, ya que en su puesta en marcha no surgió ningún problema.

Para calcular los nuevos coeficientes de mayoración por efecto borde (EfB) de las UURR analizadas se utiliza la siguiente fórmula (2).

$$EfB = \frac{\left(\left(\frac{6,67}{3.600} \right) \times (1 - \%sect) \right) + \left(\left(\frac{9,78}{3.600} \right) \times (\%sect) \right)}{(6,67/3.600)} \quad (2)$$

Donde:

- EfB: Coeficiente de mayoración por efecto borde, adimensional.
- 6,67: Pluviometría de los aspersores circulares en l/(m²×hora)
- 9,78: Nueva pluviometría para los aspersores sectoriales en l/(m²×hora). Se ha comprobado que la práctica de los instaladores locales es aumentar la pluviometría del contorno de la UR en un 20 %, con objeto de compensar las pérdidas de agua por efecto del viento.
- % sect: Porcentaje de aspersores sectoriales en cada una de las 78 UR analizadas

2.3. Análisis de la geometría

Una vez se han calculado los coeficientes de efecto borde, se pasa a analizar la geometría de estas 78 UURR. El fin de este apartado es buscar la

manera de parametrizar la forma de las UURR. Se trata de calcular un índice para medir la geometría, que pueda ser obtenido antes de conocer la instalación interior de la UR, y que represente la proporción de aspersores sectoriales sobre circulares con la que se instalará la UR en el futuro. En consecuencia, se opta por el siguiente índice geométrico que relaciona el perímetro con el área de la UR (3).

$$IG=(P\times 100)/S \quad (3)$$

Donde:

- IG: Índice Geométrico utilizado para parametrizar la forma de las UR, adimensional.
- P: Perímetro de la UR (en m). Cuando una UR tenga en su interior una o más islas de secano (con por ejemplo valores naturales de obligada conservación), sus perímetros se deben sumar al de la UR, ya que los bordes de las islas se equipan con aspersores sectoriales.
- S: Superficie regable y equipada de la UR en m².

2.4. Fórmula de la dotación ajustada a la geometría

Una vez se han calculado los nuevos coeficientes de mayoración por efecto borde de las 78 UR analizadas y sus correspondientes IG con ayuda del software QGIS, el siguiente paso es relacionarlos. Para ello se representan ambas variables enfrentadas en un diagrama de dispersión. El eje X contendrá los valores de los IG y el eje Y los valores de EfB.

Una vez representado dicho diagrama se obtendrá la recta de regresión de los puntos generados, cuya fórmula será la nueva ecuación de efecto borde que se está buscando.

3. Resultados y conclusiones

3.1. Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el estudio. Una vez calculados los coeficientes de mayoración por efecto borde se analizan los resultados del análisis de la geometría.

3.1.1. Nuevos coeficientes de efecto borde

Los resultados tras el análisis de conteo de aspersores muestran que, en el sector XXIV, el porcentaje medio de aspersores sectoriales respecto al número total de aspersores es de 29%, mientras que en el sector XXII-Arga 5 es del 23%. En ambos casos por debajo del 30-35% estimado en inicio. No obstante, se ha comprobado que la pluviometría de los sectoriales instalados es un 20% mayor que la estimada inicialmente. En consecuencia, el valor medio de efecto borde en las UURR analizadas resulta de 2,21 en el sector XXIV y de 1,76 en el sector XXII-Arga 5.

3.1.2. Análisis de la geometría

En este apartado se muestran los Índices Geométricos de cada una de las 78 UURR analizadas.

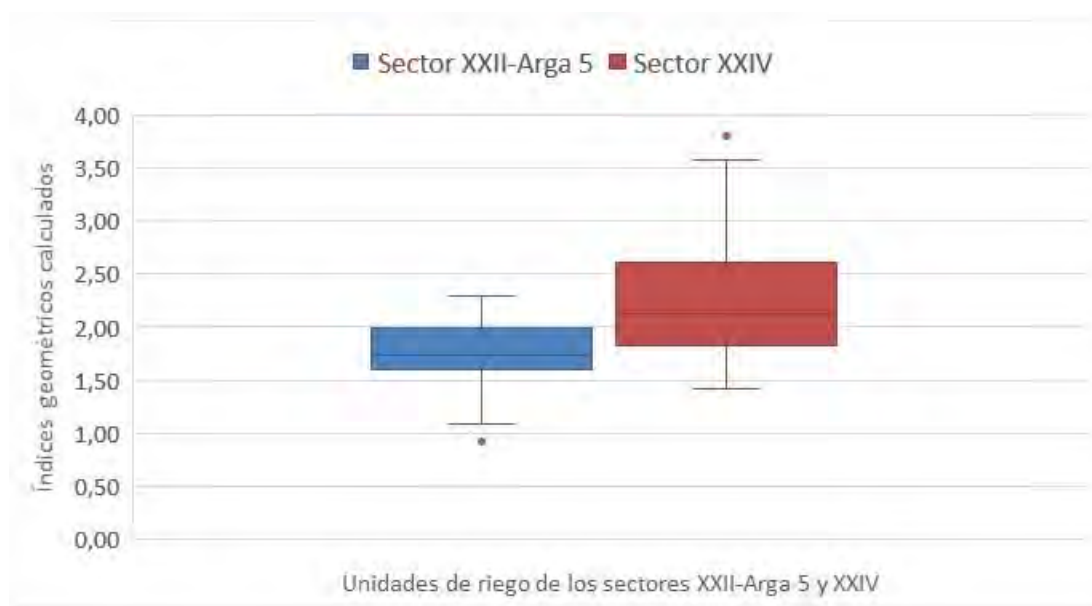


Figura 3: Índices Geométricos calculados para parametrizar la geometría de las UURR analizadas

Como ya se ha comentado, las UURR del sector XXII-Arga 5 tienen una geometría más regular que las del sector XXIV. Como queda reflejado en la Figura 3, los valores de IG del sector XXIV son mayores, y están más dispersos entre sí. Esto representa la mayor irregularidad y menor homogeneidad de sus UURR.

3.1.3. Fórmula de la dotación del hidrante ajustada a la geometría de la UR

Por último, se muestra el diagrama de dispersión (Figura 4) en el que se representan los nuevos coeficientes de efecto borde recalculados frente a los índices geométricos de todas las UURR estudiadas.

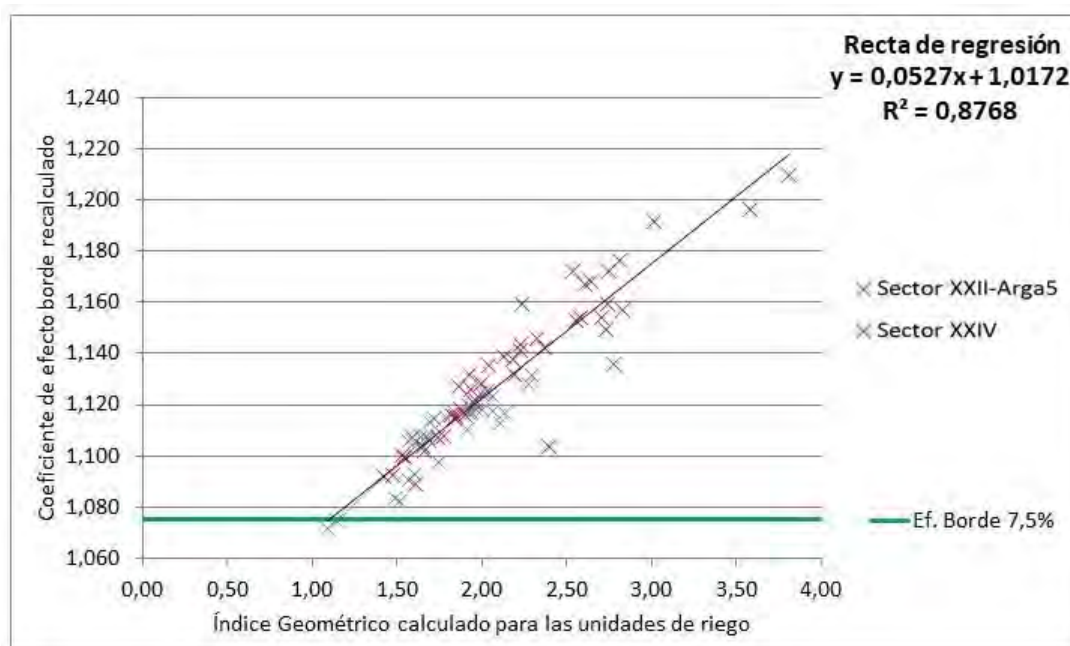


Figura 4: Representación de los nuevos coeficientes de efecto borde de las UURR analizadas frente a sus índices geométricos

Se observa que la correlación es muy alta, con un R^2 de aproximadamente 0,9. Con esta correlación, la ecuación (4) de la recta de regresión generada se entiende que sirve para calcular el coeficiente de mayoración por efecto borde de cualquier UR con cualquier forma.

$$y = 0,0527x + 1,0172 \quad (4)$$

Donde:

- y: Nuevo coeficiente de mayoración por efecto borde, adimensional.
- x: Índice Geométrico de la UR, adimensional.

Por último, se incorpora la nueva ecuación de efecto borde, que sustituye al valor fijo de mayoración por efecto borde de 1,075, utilizado hasta ahora para el cálculo de las dotaciones de los hidrantes (5).

$$Q_i(l/s) = (S_i/7) \times (6,67/3.600) \times (0,0527 \times IG_i + 1,0172) \quad (5)$$

Donde:

- S_i : Superficie de cada unidad de riego, en m^2 .
- 7: N° de sectores en que de forma general se dividen las unidades de riego.
- 6,67: Pluviometría, en $l/(m^2 \times hora)$.
- IG_i : Índice geométrico de las unidades de riego.

$$IG_i = (P_i \times 100) / S_i \quad (3)$$

Donde:

- IG : Índice Geométrico utilizado para parametrizar la forma de las UR, adimensional.

- P_i : Perímetro de la UR (en m). Cuando una UR tenga en su interior una o más islas de secano (con por ejemplo valores naturales de obligada conservación), sus perímetros se deben sumar al de la UR, ya que los bordes de las islas se equipan con aspersores sectoriales.
- S_i : Superficie regable y equipada de la UR, en m^2 .

Como resultado final, se comprueba que la fórmula (5) es efectiva. Para ello se representan en otro diagrama de dispersión Figura 5 los caudales calculados con dicha ecuación (dotación de los hidrantes) frente a los que han obtenido los diseñadores de parcela al dimensionar los requerimientos de las UUR.

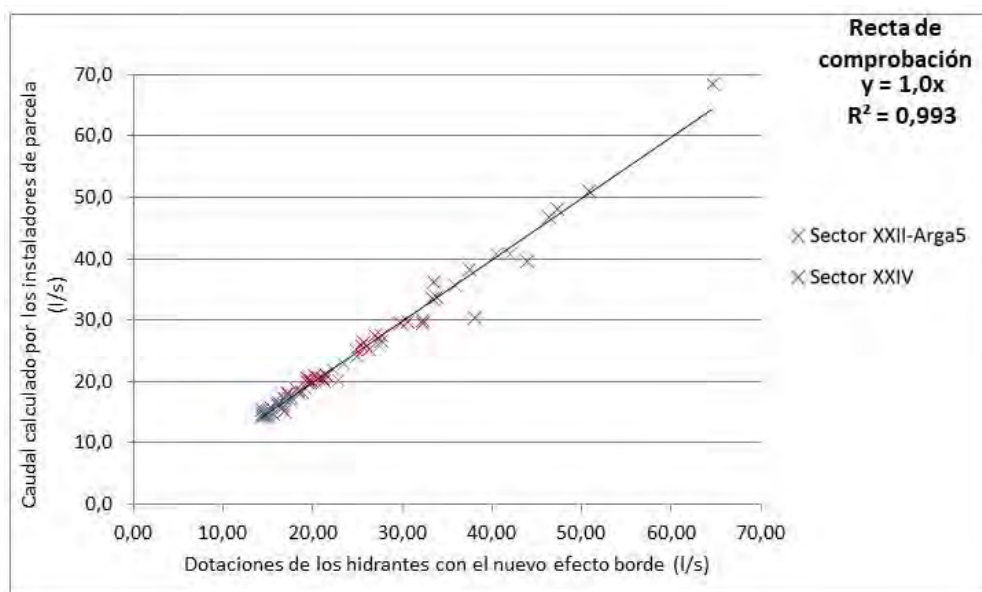


Figura 5: Comparación de los caudales obtenidos con la fórmula de la dotación de los hidrantes y los requerimientos solicitados por los diseñadores de parcela

Tal y como demuestra el R^2 de aproximadamente 1, los caudales a suministrar por los hidrantes se ajustarían perfectamente con los requerimientos si se utiliza la fórmula propuesta.

En la revisión bibliográfica realizada, se ha observado que, a pesar de que existen menciones de la importancia de la forma de las parcelas en la eficiencia de los ramales (Arviza et al., 1993) no se ha encontrado ningún autor que añada esta variable a la fórmula del cálculo de la dotación de los hidrantes. Hay ecuaciones (6) similares a la utilizada por INTIA (Planells et al., 1999), que se utilizan para estudios posteriores (Planells et al., 2001), pero no contemplan la geometría de las parcelas en sus cálculos.

$$d = 2,778 \times P_{ms} \times \frac{S}{N_s} \quad (6)$$

Donde:

- P_{ms} es la pluviosidad ($l/m^2 \times h$) dada por los aspersores.
- S : superficie (ha).
- N_s número de subunidades.

- 2,778 proviene de la división de 10.000 m²/ha entre 3.600 s/h (García-Prats & Guillem-Picó, 2016).

3.2. Conclusiones

Una vez comentados los resultados, las conclusiones serán las siguientes:

- Es necesario ajustar la fórmula de cálculo de las dotaciones de los hidrantes a un porcentaje y a una pluviometría de aspersores sectoriales más próximos a la realidad instalada.
- El índice geométrico calculado es representativo de la forma que tienen las UR, y por tanto de la proporción de aspersores sectoriales respecto del total con los que se equiparán.
- La fórmula final se adapta a todas las UURR del estudio, ya que el IG tendrá un valor mayor en aquellas con una geometría complicada, y menor en las más regulares, variando así la mayoración de caudal en los bordes frente al valor fijo establecido en inicio para todas las UURR.
- La fórmula final propuesta en este trabajo ajusta con precisión el cálculo de las dotaciones de los hidrantes al caudal que demandan realmente las instalaciones ejecutadas en las UURR.

4. Recomendaciones

Una vez analizados los resultados, se puede observar la importancia que tiene ajustar al máximo los valores de cálculo con el fin de aumentar la eficiencia en la aplicación del agua en la unidad de riego. El agua es un bien escaso, y por tanto se debe utilizar de la manera más eficiente posible. Al incorporar la geometría de la UR en el cálculo de las dotaciones de los hidrantes se ajusta de forma más precisa la estimación del caudal a suministrar por los hidrantes a la realidad de los requerimientos de la unidad de riego.

5. Bibliografía

- Arviza Valverde, J., Santamarina Siurana, C., Guillem-Picó, S., Julia Igual, J. F., & de Miguel Gómez, M. D. (1993). *Curso de redes hidráulicas de riego a presión* (DIAZOTEC S). Colegio Oficial de Ingenieros Agónomos de Aragón, La Rioja y País Vasco.
- García-Prats, A., & Guillem-Picó, S. (2016). Adaptation of pressurized irrigation networks to new strategies of irrigation management: Energy implications of low discharge and pulsed irrigation. *Agricultural Water Management*, 169, 52–60.
- Gobierno de Navarra. Ley foral 1/2002, de 7 de marzo, de infraestructuras agrícolas (2002).
- Planells, P., Ortega, J. F., Valiente, M., Montero, J., & Tarjuelo Martín-Benito, J. M. (1999). Criterios para el diseño de redes colectivas de riego. *Ingeniería Del Agua*, 6(1), 27–36.
- Planells, P., Tarjuelo Martín-Benito, J. M., & Ortega, J. F. (2001). Optimización de estaciones de bombeo en riego a la demanda. *Ingeniería Del Agua*, 8(1), 39–51.

B-13-2020

METODOLOGÍA PARA MINIMIZAR LOS TIEMPOS DE LLEGADA EN UNA RED DE RIEGO A PRESIÓN

Jiménez Bello, MA¹. (P); Manzano-Juárez², J, Alonso Campos, JC³, Martínez Alzamora F.⁴

¹Profesor Contratado Doctor de la Universitat Politècnica de València, Inst. U. Ingeniería del Agua y M.A (IIAMA), Camino de Vera, s/n 46022 Valencia. mijibar@ihma.upv.es

²Profesor Contratado Doctor de la Universitat Politècnica de València, Centro Valenciano de Estudios sobre el Riego, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia. juamanju@agf.upv.es

³ Ing. Industrial, , Inst. U. Ingeniería del Agua y M.A (IIAMA), Universitat Politècnica de València, Camino Vera, bq 5J, bajo 46022 Valencia, joalcam@etsii.upv.es

⁴Catedrático de la Universitat Politècnica de València, Inst. U. Ingeniería del Agua y M.A (IIAMA), del Agua y del Medio Ambiente, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia. fmartine@ihma.upv.es

Resumen

Las redes de riego a presión automatizadas permiten llevar a cabo la fertirrigación centralizada y realizar operaciones de mantenimiento como la limpieza de subunidades y la eliminación de especies invasoras como el mejillón cebra.

Para limpiar la red de una determinada sustancia o hacerla llegar a todos los puntos de consumo en el menor tiempo posible y con la mínima cantidad de volumen empleado, se han diseñado dos metodologías que utilizan el modelo hidráulico de la red y algoritmos genéticos multiobjetivo paralelo. La primera tiene en cuenta la variabilidad con el tiempo de la presión en cabecera y la segunda asume que ésta es constante o no baja de un determinado valor. Con la segunda se consigue minimizar los tiempos de llegada a los puntos de consumo y reducir el volumen inyectado hasta el mínimo de reemplazo, es decir, el volumen de las tuberías de la red.

1- Introducción

Las redes colectivas de riego a presión permiten el uso de la fertirrigación colectiva, de tal forma que se puedan cubrir los requerimientos hídricos y de nutrientes utilizando un mismo sistema de distribución. Esta práctica, ha sido incorporada en numerosas comunidades de regantes con monocultivo y explotaciones de tamaño pequeño como las del este mediterráneo español.

A nivel de red de transporte, la distribución del fertilizante ha sido analizada, desde la perspectiva de la gestión, en el trabajo realizado por Jimenez-Bello et al. (2011). En él, se analiza cómo se distribuye el fertilizante en la red y cómo la programación del riego influye en el tiempo efectivo de fertilización (EFT). Se propuso una metodología para homogeneizar la EFT en el caso de que existan riegos sin fertilización y la presencia de tomas que no quieren recibir fertilizantes. Del mismo modo, en el caso de que el suministro tenga dependencia energética, la organización del riego más eficiente desde el punto de vista energético no tiene por qué coincidir con la distribución que garantiza una mejor EFT para cada una de las tomas. Por ello se propuso una metodología que combine aquellas agrupaciones de tomas óptimas

desde el punto de vista energético con aquellas que permiten aumentar la EFT. Las conclusiones que se obtuvieron fueron que la existencia de tomas que no desean realizar fertilización disminuyen la uniformidad de EFT y difícilmente puede garantizarse que no llegue ninguna cantidad de fertilizante a las mismas.

Sin embargo, la introducción de nuevos cultivos en los distritos de riego plantea nuevos retos a la hora de realizar una gestión eficiente, puesto que no todos tienen las mismas necesidades de fertilizantes, ni se les aplican los mismos tratamientos. Otro reto importante a abordar es la posible presencia de cultivos ecológicos en la red. Ello implica limpiar la red lo más rápido posible de las sustancias existentes para adecuarlas a las necesidades de los cultivos que se riegan en un determinado momento.

Del mismo modo, la realización de operaciones de mantenimiento, como la limpieza de subunidades, conlleva inyectar ácido nítrico, fosfórico, sulfúrico o clorhídrico, cuyo pH debe ser de 2 a 3 para conseguir un buen resultado (CAJAMAR, 2014). Una referencia es inyectar 6 l m^{-3} de ácido, por lo que interesa minimizar la cantidad utilizada para rebajar el coste de la limpieza.

Otra operación frecuente es el uso de desinfectantes para la eliminación del mejillón cebra (Confederación hidrográfica del Ebro, 2014). Para este fin se utilizan métodos de control físicos y químicos. Los métodos químicos se pueden utilizar de forma preventiva, cuando se produce la entrada de las larvas en las instalaciones, o reactiva, en cuyo caso la estrategia elegida dependerá del grado de colonización para determinar la dosificación del producto y el tiempo de exposición. Las sustancias que se utilizan son oxidantes como clorados y ozono que reaccionan con el medio, este último a una mayor velocidad; y los no oxidantes como el Sulfato de Aluminio, el Nitrato Amónico, el Metasulfito de Sodio, el Sulfato de Cobre y el Potasio. Estas sustancias se pueden asumir que no reaccionan con el medio.

2- Objetivos

En este trabajo se presentan dos propuestas que permiten minimizar el tiempo de lavado de la red, o lo que es lo mismo, hacer que una sustancia llegue lo más rápido posible a todos los puntos de consumo para permitir la aplicación de distintos tratamientos, a la vez que se garantizan las presiones mínimas de funcionamiento. En caso de utilizarse una sustancia para un tratamiento, se puede además minimizar la cantidad utilizada. La primera metodología tiene en cuenta que la presión en la cabecera de la red no es constante y la segunda que sí lo es.

3- Metodología

3.1 Caso de estudio

El caso de estudio elegido es el sector XI de la Acequia Real del Júcar (ARJ), localizado en el término municipal de Algemesí (Valencia). Se trata de una red colectiva de 88 hidrantes multiusuarios, con 565 tomas de riego con válvulas de apertura automatizadas, 14.9 km de tuberías y 434 ha regadas donde el 60 % son caquis, el 27 % cítricos y la superficie restante se destina a otro tipo de frutales. El cabezal de riego se encuentra a una cota de 28.14 m y las cotas de los hidrantes varían entre 21.12 m y 32.6 m. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el trazado de la red hidráulica.

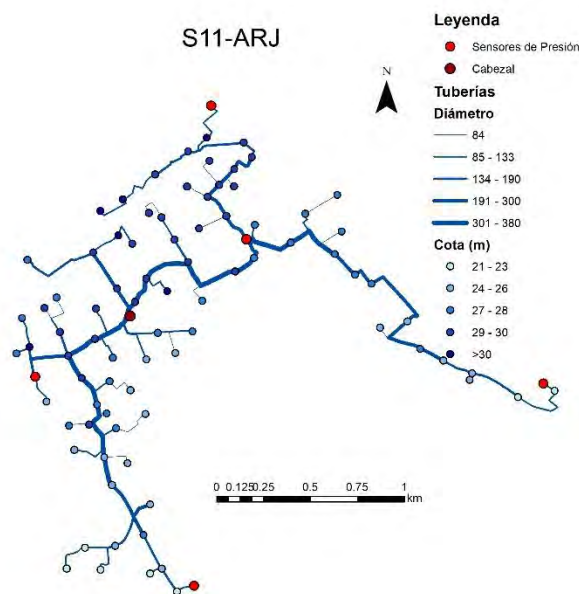


Figura 1 Topología de la red de riego del Sector XI de la Acequia Real del Júcar

El suministro se realiza a través de una red general de alta presión que abastece a otros 90 cabezales de riego. De estos, en la actualidad en 36 se ha completado el proceso de modernización a riego a presión, lo que supone un 22% de las 15.000 ha de las que consta la ARJ. El resto sigue operando mediante riego por gravedad. La regulación de la red general garantiza que la presión en cabecera no supere los 43 m, mientras que la presión mínima no está garantizada. En el periodo de mayores requerimientos hídricos las tomas riegan tres veces al día, en periodos de 1 hora de duración. La secuencia de apertura de las tomas está repartida a lo largo del día de manera empírica para reducir las pérdidas de carga en la red de distribución y dar el servicio con las presiones mínimas requeridas en cada hidrante.

3.2 Calibración del modelo

Una vez confeccionado el modelo hidráulico de la red para su simulación en EPANET (Rossman, 2000), se procedió a su calibración. Para ello se colocaron 5 sensores de presión (SSC2035 Sensortech, Puchheim, Germany) con una frecuencia de toma de datos de 2 minutos. La instalación disponía en cabecera de un sensor que recogía los datos con una frecuencia de 1 minuto. La disposición de los sensores en los hidrantes se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Comparando las medidas reales con las simuladas, y tras corregir ligeramente la cota de los manómetros, el error cuadrático medio fue de 0.711 m y 0.709 m para las dos fechas que se realizó la calibración (11/8/2019 y 12/08/2019). No fue necesario modificar ningún otro parámetro inicial introducido.

La Figura 2 muestra las presiones medias, máximas, mínimas y la desviación estándar de 12 días durante la campaña de riego (1/8/2019-12/8/2019) registradas en el cabezal. Las variaciones de presión en la red principal se deben a la apertura de tomas en las diferentes redes de riego de las que se compone la ARJ y la descarga a través de ella en las acequias a presión atmosférica de las infraestructuras que continúan funcionando por gravedad.

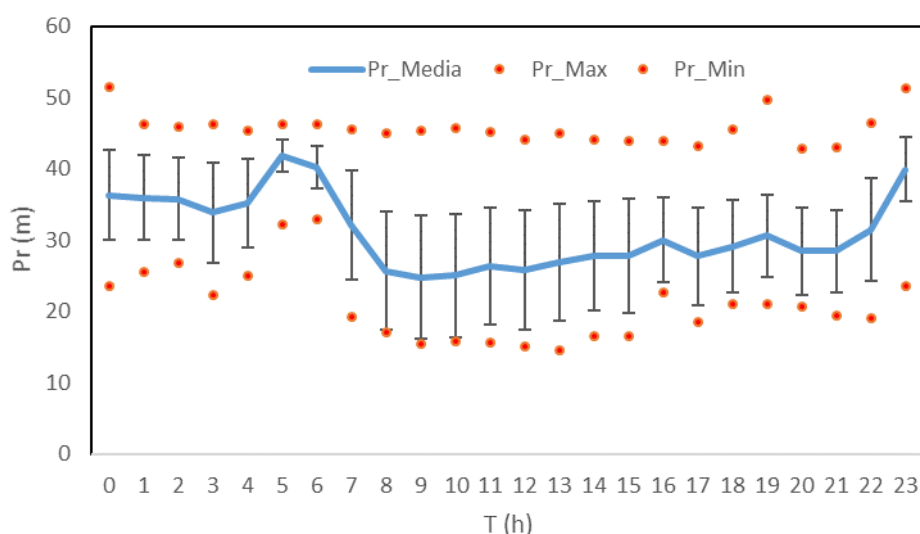


Figura 2 Presiones medias (Pr_Media), desviación estándar y presiones máximas (Pr_Max) y mínimas (Pr_Min) para el periodo del 1/8/2019 al 12/8/2019.

3.3 Metodología multiobjetivo asumiendo que la presión en cabecera es variable (Met1)

Para resolver el problema se ha combinado el uso de un modelo hidráulico de la red mediante la Toolkit de EPANET 2.0 (Rossman, 2000) con un algoritmo genético multiobjetivo paralelo utilizando el método NSGA-II (Deb et al., 2002).

La primera función objetivo del problema es maximizar el número de hidrantes a los que le llega la sustancia (H_s).

$$Max(N_{Hs}) = \sum_{i=1}^{N_{Hs}} (T_{Hi} < T_{JRieg}) \quad (1)$$

donde T_{Hi} es el tiempo que tarda el agua en llegar al hidrante H_i desde el origen, T_{JRieg} es la duración de la jornada de riego, y N_{Hs} es el número de hidrantes del total de hidrantes de la red N_H a los que le llega la sustancia dentro del tiempo T_{JRieg} . Una vez llega la sustancia a una de las tomas de un hidrante, se considera que lo ha hecho a todas las tomas que alimenta el hidrante.

La segunda función objetivo es minimizar el déficit de presión en las tomas (DPT) o en los hidrantes (DPH) que se produce cuando se suministran los caudales requeridos:

$$DPT = \frac{1}{N_t} (\sum_{i=1}^{N_t} \text{Min}\{p_{min,req}^t - p_{min,calc}^t, 0\}) \quad (2)$$

donde $p_{min,req}$ es la presión mínima requerida en la toma t , $p_{min,calc}$ es la presión mínima calculada mientras esta opera y N_t el número total de tomas que operan durante T_{JRieg}

También se ha propuesto una tercera función objetivo que consiste en minimizar el volumen inyectado en la red (V_{Tot}) para conseguir el primer objetivo, asumiendo que cuanto menor sea V_{Tot} , independientemente de la concentración del producto utilizado en la operación, normalmente en una jornada de riego (T_{JRieg}), menor será la cantidad utilizada de éste.

$$Min(V_{Tot}) = \sum_{t=1}^{N_t} V_t \quad (3)$$

donde V_t es el volumen consumido por cada toma t y N_t el número total de tomas que operan.

Las variables de decisión de las que se compone cada uno de las posibles soluciones (cromosomas) son los genes. Estos genes se han codificado como variables enteras en las que se determina cuándo se inicia el riego, discretizado conforme el intervalo de tiempo de la simulación hidráulica (T_{Hid}) definido en EPANET, y la duración de éste, en un principio limitado al máximo tiempo de riego diario (T_{Rieg}) que es de 3 h. Si se decide que todas las tomas de un mismo hidrante funcionan a la vez, el número de variables será dos veces el número de hidrantes (N_H). Si $T_{JRieg} = 24$ h y $T_{Hid} = 900$ s = 15 min, las primeras N_H variables tomarán valores entre 0 y 95 (24×4). Las siguientes N_H variables tomarán valores entre 0 y T_{Rieg} , es decir, entre 0 y 12 (3×4).

3.4 Metodología asumiendo que la presión en cabecera es constante (Met2)

Asumiendo que la presión en cabecera es constante, o que ésta no disminuirá por debajo de un valor de referencia, se ha propuesto una nueva metodología que utiliza el modelo hidráulico de la red junto con NSGA-II, reformulado ahora para cada instante a medida que transcurre la simulación.

La hipótesis en que se basa es que cuantas más tomas funcionen, mayor será la velocidad en las tuberías y antes se alcanzarán los puntos de consumo. Del mismo modo que en el caso anterior, se asume que todas o parte de las tomas de un mismo hidrante funcionan a la vez. El volumen mínimo a inyectar será el de las tuberías de la red, 607 m^3 para el caso de estudio.

Una diferencia fundamental entre este método y el anterior, es que ahora el escenario de apertura y cierre de las válvulas se va determinando a medida que transcurre el tiempo, de modo que en todo el proceso se realiza una única simulación para toda la jornada de riego. En el método anterior, en cambio, cada solución del algoritmo genético era un escenario completo para toda la jornada de riego, para el cual se evaluaban las distintas funciones objetivo a fin de compararlas con las de otros escenarios.

La metodología consta de las siguientes fases:

1. Encontrar el máximo número de tomas que pueden funcionar sin que exista DPT. Para ello se construye un algoritmo genético en el que el número de variables es N_H . Estas se han codificado como variables enteras y el rango de valores que pueden tomar es de 0 o 1. El valor 0 significa que el hidrante está abierto y el valor 1 que está cerrado.
2. Una vez se ha seleccionado la solución para la cual se maximiza V_{Tot} y se minimiza DPH, se determina el tiempo de llegada (T_H) de la sustancia inyectada a las primeras tomas en funcionamiento.
3. Para determinar las nuevas tomas que abren se utiliza de nuevo cada vez el algoritmo genético a fin de minimizar el DPT, el cual se reinicia incorporando a la población inicial la solución de la etapa anterior, para acelerar el proceso de encontrar la mejor solución.

Para calcular T_H en los siguientes hidrantes a los que llegará la sustancia inyectada, se reinicia desde el instante inicial el escenario en EPANET con la nueva configuración de tomas cerradas y abiertas. A medida que transcurre el tiempo, las tomas a las que va llegando la sustancia inyectada se cierran y a las que todavía no les ha llegado, se mantienen abiertas. Conforme se van cerrando algunas tomas, se abren otras de entre las restantes determinadas por el algoritmo genético.

4. El proceso se repite hasta que la sustancia llega a todas las tomas en funcionamiento.

3.5 Escenarios propuestos

Para el análisis de los escenarios propuestos primero se ha evaluado el funcionamiento de la red de riego en una de las jornadas representativas de los periodos de mayor demanda, como es la primera semana de agosto. Para ello se ha calculado V_{Tot} , DPT, el tiempo de llegada de la sustancia media por hidrante ($T_{H\ M}$), el tiempo de llegada mínimo ($T_{H\ Min}$), el tiempo de llegada máximo ($T_{H\ Max}$) y el número de tomas (N_{Tom_Pmin}) que funcionan por debajo de la presión mínima requerida (P_{Min}), que se ha establecido en 20 m.

Para Met1, los escenarios se configuran variando T_{JRieg} (Escenarios 2-8). T_{Rieg} se ha establecido en 3 h. No obstante, para compararla con la otra metodología propuesta, se han tomado aquellas soluciones donde se maximiza N_{Hs} . La curva de modulación de presiones en cabecera utilizada ha sido la que se muestra en la Figura 2. La población inicial seleccionada ha sido de 100 cromosomas. El número total de evaluaciones ha sido de 100000, una vez observada que la solución mejoraba levemente incrementando este valor. T_{Hid} se ha establecido en 300 s, el mismo valor para el intervalo de las curvas de modulación y el intervalo de calidad (T_Q) en 12 s. Se recomienda que al menos T_Q sea la quinta parte de T_{Hid} (Rossman,2000). No obstante, dadas las elevadas velocidades que se alcanzan en las tuberías, se ha establecido un T_Q inferior al mínimo recomendado. La elección de un T_{Hid} pequeño mejora el resultado para minimizar el volumen inyectado al del remplazo de las tuberías, puesto que se establece con más precisión cuando iniciar y parar el funcionamiento de las tomas de los hidrantes, si bien aumenta el número de posibles soluciones de las variables. El número posible de soluciones combinadas para un hidrante dado, considerando la hora de apertura y el tiempo que puede permanecer abierto es:

$$N = \frac{T_{Rieg}}{T_{Hid}} \cdot \frac{T_{JRieg}}{T_{Hid}} \quad (4)$$

Para Met2 (escenarios 9-17) se ha modificado el número de evaluaciones (N_{Ev}). La presión fija establecida en el cabezal de la red ha sido la media horaria diaria, 31 m. Se ha modificado el número de tomas de cada hidrante que funcionan a la vez ajustándose el caudal lo más aproximado al 75, 50, 25 y 15 % del caudal total del hidrante ($Q\%$). Se ha establecido un $T_{Hid} = 60s$ y un $T_Q = 12s$. Para todos los escenarios, la población inicial es de 100 cromosomas.

En ambas metodologías se ha asumido que las tomas de un mismo hidrante que funcionan, lo hacen a la vez. La probabilidad de mutación se ha establecido en un 10%, el método de cruzamiento seleccionado ha sido el "SinglePointCrossover" y el método de selección el "BinaryTourment2" (Durillo y Nebro, 2011).

La inyección de la sustancia en el cabezal de la red se ha modelado como una Reinyección a Punto Fijo a la que se le ha fijado un determinado valor de la concentración.

4- Análisis de los resultados

4.1 Análisis del funcionamiento de la red en una jornada de riego.

La Figura 3 muestra la evolución del caudal inyectado y la presión disponible en cabecera para una jornada de riego donde operan 556 tomas distribuidas en los 88 hidrantes con un tiempo medio de funcionamiento de 3.1 h. El V_{Tot} aportado es de 7803 m³, y los tiempos observados son $T_{Lleg\ t\ M} = 3.15$ h, $T_{Lleg\ t\ Min} = 0.33$ h y $T_{Lleg\ t\ Max} = 11.76$ h. Dos de los hidrantes de un ramal extremo no recibe ninguna cantidad de sustancia en las 24 h. Un total de 317 tomas operan por debajo de P_{Min} .

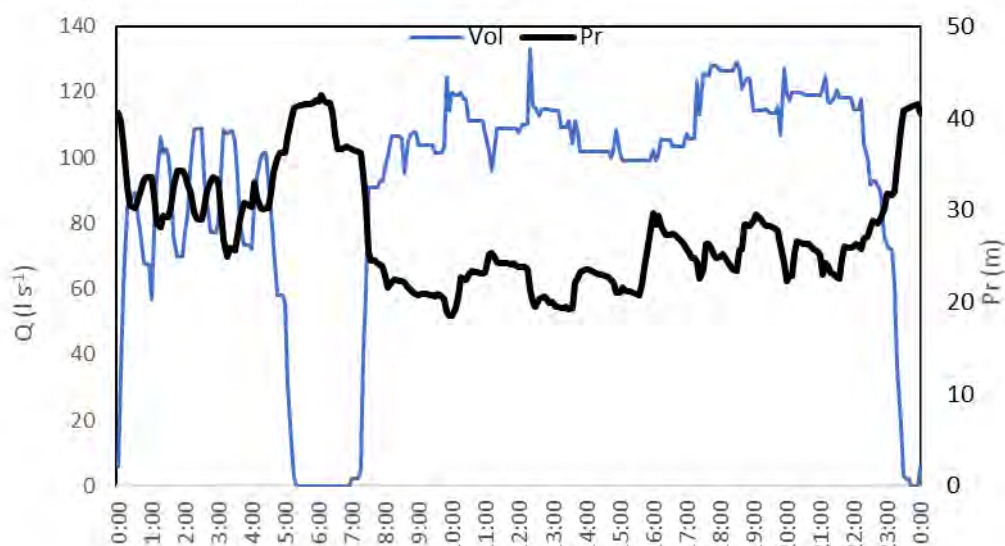


Figura 3 Caudal inyectado (Q , $l\ s^{-1}$) y presiones (Pr , m) para una jornada de riego de máxima necesidades

4.2 Análisis de los escenarios de optimización

La Tabla 1 muestra el resumen de los escenarios (ESC) simulados con Met1. ESC1 se corresponde con el descrito en el apartado anterior.

Tabla 1 Escenarios óptimos para diferentes valores del T_{JRieg} en que pueden operar las tomas. Para cada uno se muestra el volumen inyectado en la red V_{Tot} (m^3), el tiempo de llegada medio de la sustancia a los hidrantes de la red ($T_{H\ M}$), el tiempo mínimo ($T_{H\ Min}$), el tiempo máximo ($T_{H\ Max}$), el déficit de presión en hidrante (DPH), la duración de la jornada de riego (T_{JRieg}) y el número de hidrantes a los que le llega la sustancia (N_{HS}) en T_{JRieg} .

ESC	T_{JRieg}	V_{Tot} (m^3)	$T_{H\ M}$ (h)	$T_{H\ Min}$ (h)	$T_{H\ Max}$ (h)	DPH(m)	N_{HS}
1	24	7803	3.15	0.5	11.76	2.45	86
2	24	1488	9.06	0.67	21.1	0.1	87
3	12	1489	4.14	0.67	8.75	0.13	87
4	10	1302	3.61	0.17	7.7	0	87
5	8	1378	3.16	0.42	6.25	0.03	87
6	7	1353	2.73	0.41	5.2	0	87
7	6	1317	2.14	0.25	6	0.08	87

Se observa que al aumentar T_{JRieg} , los tiempos de llegada aumentan y V_{Tot} permanece constante, excepto para ESC 1 y 2 en los que aumenta. EL DPH muestra poca variabilidad para todos los escenarios. La Figura 4 presenta los frentes de Pareto para cada uno de los escenarios.

El máximo exceso de volumen inyectado respecto al volumen de reemplazo, debido a que las tomas se cierran después de la llegada del fertilizante porque T_{Hid} no es lo suficientemente pequeño, es de $213\ m^3$. Se obtiene al multiplicar T_{Hid} (300 s) por la demanda base de todos los hidrantes. El resto de la diferencia entre V_{Tot} y el volumen de las tuberías ($607\ m^3$) se debe a que el algoritmo no converge lo suficiente debido a la gran cantidad de posibles soluciones de cada variable (10368). Para reducir el número de evaluaciones, se podría acotar el rango de posibles soluciones para ciertas variables, como por ejemplo el funcionamiento de los hidrantes localizados en ramales extremos, donde el tiempo de

funcionamiento se restringiría justo el tiempo que tarda en llegar la sustancia desde el hidrante aguas arriba.

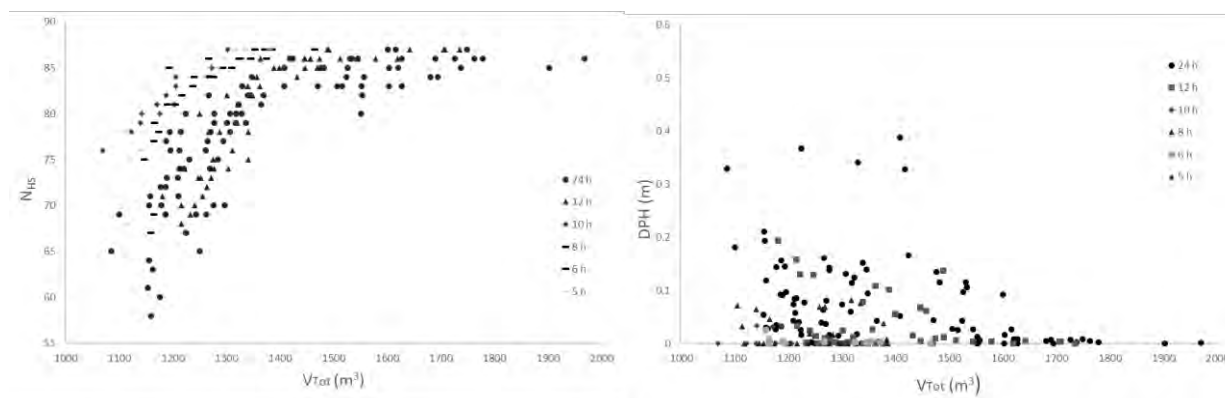


Figura 4 Volumen consumido (Vol , m^3), número de hidrantes a los que les llega la sustancia (N_{Hid_S}) y déficit de presión en hidrante para los distintos soluciones de los escenarios de Met1 según la duración de la jornada de riego T_{JRieg} .

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** resume los escenarios para Met2. Para todos los escenarios propuestos la sustancia alcanza la totalidad de los hidrantes, $N_{\text{Hs}}=88$. El volumen inyectado para todos los escenarios coincide con el volumen total de las tuberías de la red, 607 m^3 .

Tabla 2 Escenarios óptimos en función del número de evaluaciones (N_{Ev}) y del caudal de las tomas. Por cada uno se muestra el tiempo de llegada medio de la sustancia a los hidrantes de la red ($T_{\text{H M}}$), el tiempo mínimo ($T_{\text{H Min}}$), el tiempo máximo ($T_{\text{H Max}}$), el déficit de presión en hidrante (DPH) y el tiempo mínimo de riego que permanece abierto un hidrante.

ESC	N_{Ev}	$Q(\%)$	$T_{\text{H M}} (\text{h})$	$T_{\text{H Min}} (\text{h})$	$T_{\text{H Max}} (\text{h})$	DPH	$T_{\text{Rieg Min}} (\text{h})$
8	500	100	0.28	0.016	2.48	1	0.033
9	1000	100	0.28	0.016	2.48	0.79	0.0166
10	5000	100	0.27	0.016	2.46	0.73	0.033
11	10000	100	0.27	0.016	2.46	0.89	0.033
12	20000	100	0.27	0.016	2.46	0.64	0.033
13	50000	100	0.27	0.016	2.46	0.32	0.033
14	10000	75	0.36	0.016	3.25	0.05	0.033
15	10000	50	0.52	0.016	4.92	0	0.066
16	10000	25	0.52	0.016	9.83	0	0.083
17	10000	15	1.72	0.016	16.4	0	0.083

Cuando $Q\%=100$, a medida que N_{Ev} aumenta DPH disminuye, mientras que $T_{\text{H M}}$ y $T_{\text{H Max}}$ permanecen casi inalterables. Además el tiempo que cuesta limpiar la red se reduce en 0.02 h comparando el escenario 8 frente al 13 (de 2.48 h 2.46 h). Esto es debido a la propia naturaleza del algoritmo genético, que al realizar más evaluaciones encuentra un mayor número de hidrantes que pueden funcionar simultáneamente. DPH se debe a un ramal de 200 m donde se producen pérdidas de 40 m km^{-1} cuando el hidrante opera a $Q\%=100$.

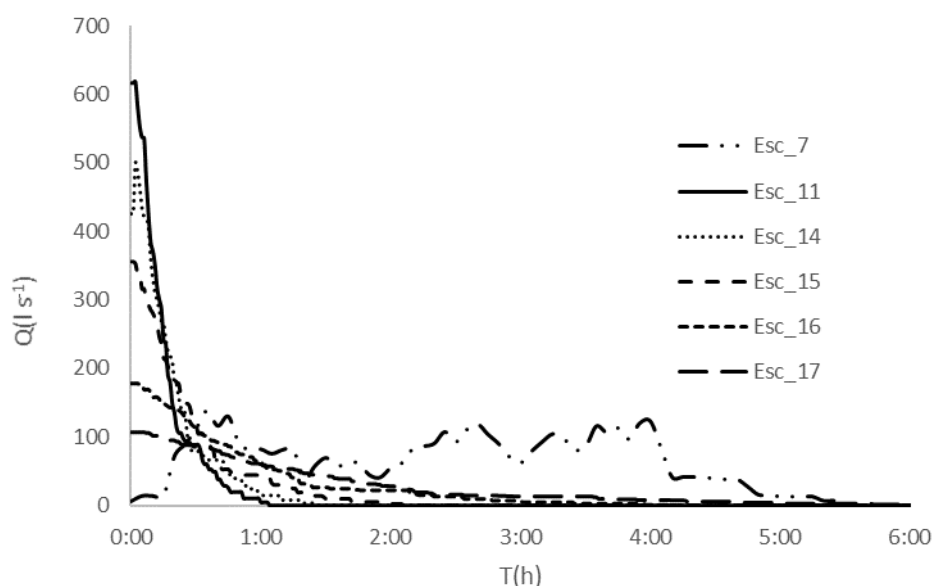
El tiempo de limpieza de la red se completa en 2.46 h, si bien $T_{\text{H M}}$ es de 0.27 h. La presencia de ramales extremos con bajo caudal produce un aumento de la duración del proceso de limpieza. La Figura 5 muestra la evolución de los caudales en cabecera de red para ESC7, ESC11 y ESC14-17. Como se observa, Met2 concentra el funcionamiento de las tomas de los hidrantes al principio y luego va disminuyendo conforme la sustancia llega a los hidrantes y las tomas de estos cierran.

Esto produce velocidades elevadas justo a la salida del cabezal de 5.6 m s^{-1} , lo que puede provocar variaciones excesivas de presión al cambiar el régimen de funcionamiento de la red, sobre todo al principio de la maniobra de limpieza. Además, implica abrir un número de tomas en un tiempo muy pequeño, 1 minuto, maniobra no recomendada en la apertura de las válvulas de tomas por la corta duración. Algunos fabricantes recomiendan un funcionamiento mínimo de 5 minutos.

En los escenarios 14-17, en los que se ha reducido el número de tomas que opera a la vez en cada hidrante, se observa como los tiempos de llegada aumentan. Estos escenarios son más convenientes para llegar a todos los nudos con menores velocidades en las tuberías, pero invirtiendo más tiempo. Para ESC 17 la velocidad máxima alcanzada son 0.96 m s^{-1} . En el caso de la aplicación de tratamientos con una sustancia reactiva con un tiempo medio de reacción superior al de llegada, sería más conveniente estas soluciones para minimizar los efectos transitorios, que con $Q(\%)=100$. Además, $T_{\text{Rieg Min}}$ aumenta hasta los 5 minutos. En ESC7 la máxima velocidad en el cabezal es de 1.27 m . Si se redujera la presión en cabecera, aumentarían los tiempos de llegada.

La

Figura 5 muestra la evolución del caudal inyectado a lo largo del tiempo para los



escenarios elegidos.

Figura 5 Evolución del caudal inyectado en cabecera ($Q, \text{l s}^{-1}$), para los Escenarios 7, 11, 14, 15, 16 y 17

Met2 disminuye V_{Tot} y los tiempos de llegada frente a Met1, si bien Met2 solo es compatible con una presión mínima garantizada en cabecera. En el caso de estudio, la red se alimenta desde una tubería general con una presión de suministro variable en el tiempo. Si el suministro se realizara con equipos de bombeo, estos podrían mantener una determinada presión de consigna en el caso de disponer de variadores de frecuencia, pero ello no sería compatible con un consumo energético mínimo. Sería necesario un estudio económico de la conveniencia de esta metodología, dependiendo de las veces en que se realicen estas operaciones de limpieza de la red, del coste de los productos y del coste energético.

Por el contrario, Met1 sí que se puede adoptar teniendo en cuenta este criterio como en Alonso Campos et al (2020)

5- Conclusiones

En las redes de riego a presión automatizadas, ciertas operaciones requieren distribuir una sustancia a través de la red, bien para fertilizar, limpiar o desinfectar. En cualquier caso, interesa que ello se haga en el menor tiempo posible y utilizando la menor cantidad de volumen inyectado. Para ello se han desarrollado dos metodologías que utilizan el modelo matemático de la red junto con algoritmos genéticos multiobjetivo paralelos.

La primera tiene como objetivo intentar llegar al máximo número de puntos de consumo, minimizando el déficit de presión y el volumen inyectado. Además, permite que la altura en cabecera sea variable en el tiempo. La segunda tiene como objetivo llegar a todos los puntos en el menor tiempo posible respetando el déficit de presión, con la limitación de la existencia de una presión constante en cabecera.

La segunda metodología consigue mejores resultados permitiendo limpiar la totalidad de la red en un tiempo mínimo de 2.46 h, e inyectando justo el volumen de las tuberías con un ahorro del 92.2 % comparado a una jornada normal de riego (Esc 1).

6- Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la Acequia Real del Júcar, en especial a su técnico Alberto Hervás y a su Secretario Juan Valero de Palma, el apoyo y el interés para la realización de este trabajo.

7- Bibliografía

Alonso Campos, J. C., Jiménez-Bello, M. A., Martínez Alzamora, F. (2020). Real-time energy optimization of irrigation scheduling by parallel multi-objective genetic algorithms. *Agricultural Water Management*, 227. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105857>

CAJAMAR 2014. Limpieza de la instalación de riego. Boletín nº 114. URL: <https://www.cajamar.es/pdf/bd/agroalimentario/innovacion/investigacion/documentos-y-programas/boletin-huerto-114-1496655961.pdf>

Confederación hidrográfica del Ebro 2014. Mejillón cebrá; Manual de control para instalaciones afectadas. 2ª ed. Zaragoza. 42 pp
<http://www.chebro.es/contenido.streamFichero.do?idBinario=18109>

Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T., 2002. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Trans. Evol. Comput.* 6, 182–197.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/996017>

Durillo, J.J., Nebro, A.J., 2011. JMetal: a Java framework for multi-objective optimization. *Adv. Eng. Softw.* 42, 760–771.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0965997811001219>

Jimenez-Bello, M. A., Martínez, F., Bou, V., & Bartolín, H. (2011). Analysis, assessment, and improvement of fertilizer distribution in pressure irrigation systems. *Irrigation Science*, 29(1)
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00271-010-0215-7>

Rossman, L. A. (2000). Epanet 2, users manual. Cincinnati, USA: Water Supply and Water Resources Division. National Risk. Management Research Laboratory.
<https://www.epa.gov/water-research/epanet>

B-14-2020

EL VISOR GEOGRAFICO DE *INFORIEGO*, UNA HERRAMIENTA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES (*HATD*) DE LOS REGANTES EN CASTILLA Y LEÓN

Antolín Martínez, Francisco Javier (1) (P), Mínguez González, Celia (2) (P).

⁽¹⁾ INSTITUTO TECNOLÓGICO AGRARIO de Castilla y León

¹ Técnico de la Subdirección de Infraestructuras Agrarias, ita-antmarfr@itacyl.es

² Técnico de la Subdirección de Infraestructuras Agrarias, mingonce@itacyl.es

1- INTRODUCCIÓN

El Servicio de Asesoramiento al Regante (SAR) *InfoRiego*[®], gestionado por el Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL), lleva en funcionamiento desde el año 2002 y ofrece a los usuarios el apoyo técnico necesario para lograr un uso más racional del agua, y por consiguiente de la energía. Es el Servicio de Asesoramiento al Regante (SAR) de Castilla y León, cuyo objetivo es hacer llegar a los agricultores la información precisa sobre el agua que tienen que emplear para regar en cada momento sus cultivos. Depende de las circunstancias climatológicas de cada zona y del momento del ciclo en el que se encuentre el cultivo.

Los antecedentes del sistema se remontan a los años 1999 y 2000, cuando el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) puso en marcha una red de 42 estaciones agroclimáticas en Castilla y León destinadas a determinar las necesidades hídricas de los cultivos de regadío. La Comunidad Autónoma de Castilla y León a través de la Consejería de Agricultura y Ganadería, colaboró en la realización del proyecto, proponiendo lugares para el emplazamiento de las estaciones, y promoviendo la colaboración de distintos ayuntamientos, comunidades de regantes, cooperativas y particulares implicados en el sector del regadío.

Tras la creación del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León, en el seno de la Consejería de Agricultura y Ganadería, el mantenimiento del sistema *InfoRiego*[®] pasó a realizarse desde la Subdirección de Infraestructuras Agrarias del Instituto. En este organismo se vienen realizando tareas diarias de control, revisión y validación de los datos meteorológicos, así como el mantenimiento técnico de las estaciones propias. Las recomendaciones de riego también son objeto de revisión a través de los coeficientes de cultivo que se han de utilizar en cada campaña y para cada área de regadío.

Con el tiempo la red en Castilla y León ha ido aumentando paulatinamente, hasta llegar hoy en día a la instalación de un total de 53 estaciones agrometeorológicas, que están integradas en la red SIAR.

Para poder consultar y explotar los datos registrados por las estaciones agrometeorológicas, la Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León, desarrolló la aplicación de *InfoRiego*[®] con dos propósitos clave, que fuera accesible desde internet y que sirviera para facilitar datos meteorológicos y recomendaciones de riego a los regantes y al público en general de las principales áreas de regadío de Castilla y León.



Figura 1.- Estación agroclimática

El sistema **InfoRiego**[®] de asesoramiento a los regadíos de Castilla y León es un servicio público de especial interés, tanto por la información meteorológica que se facilita como por el asesoramiento respecto a necesidades hídricas de los cultivos. Está dirigido de manera especial, a aquellas comunidades de regantes que han modernizado sus infraestructuras.

Por otro lado, este servicio de asesoramiento a los regadíos adquiere un papel más relevante por la importancia que están adquiriendo los recursos hídricos en un escenario de cambio climático en el cual se prevé una reducción de la pluviometría y un aumento de la demanda hídrica de los cultivos como consecuencia del aumento de la temperatura. A esta circunstancia le debemos añadir la demanda alcista de recursos hídricos por parte de los demás usuarios, como son los núcleos urbanos y la industria. En este escenario, la temporalidad de **InfoRiego**[®] debe considerarse indefinida.

2- OBJETIVOS

InfoRiego[®] proporciona el conocimiento necesario sobre el consumo de agua de los diferentes cultivos para realizar una programación de riego eficiente y enfocada a conseguir unos rendimientos óptimos de los cultivos. Se da prioridad a la optimización, la eficiencia, y la sostenibilidad del manejo del agua, a través de recomendaciones de riego elaboradas a partir del cálculo de la evapotranspiración del cultivo, basado en el método recomendado por la FAO.

Paralelamente, **InfoRiego**[®] tiene como misión ser una amplia plataforma de comunicación con los usuarios del agua de riego, ofreciendo además cuantos servicios para el desarrollo de su actividad agraria les sean de utilidad (datos agroclimáticos, predicciones de precipitación, información técnica sobre la gestión del riego).

El servicio de asesoramiento al regante **InfoRiego**[®] utiliza varias herramientas o canales fundamentales para la divulgación de las recomendaciones de riego a los usuarios:

La herramienta principal de comunicación entre nuestro servicio de asesoramiento y los regantes es el portal Web (www.inforiego.org), donde se suministran las

recomendaciones de riego que pueden ser personalizadas por cada usuario en el momento de elegir el cultivo, la fecha de siembra, el periodo de recomendación y el sistema de riego. Esto, permite al usuario obtener una recomendación de riego muy ajustada a la realidad de las necesidades hídricas de su cultivo en cualquier momento del ciclo del mismo.

También existe la opción de obtener una recomendación genérica de cada zona regable, si bien, se trata de una recomendación más orientativa que precisa, ya que se fundamenta en fechas de siembra medias, que al no tener en cuenta la situación de cada campaña agrícola pueden presentar desviaciones en las recomendaciones debidas al adelanto o atraso de las fechas de siembra de cada cultivo.

Otro de los sistemas de suministro de recomendaciones de riego son las facilitadas a través de un servicio de envío de mensajes de telefonía móvil (SMS). Es un servicio gratuito que tiene una periodicidad semanal.

Los usuarios pueden darse de alta a través del portal *Web*, donde a través de un formulario facilitarán los datos del cultivo (fecha de siembra, localización). A partir de la inscripción y mientras esté implantado el cultivo, se generará todas las semanas un mensaje (SMS) de recomendación de riego personalizado para cada alta en el servicio.

Un medio similar al anterior en cuanto a método de cálculo y generación de la recomendación, es el servicio de envío de correos electrónicos (inforiego@itacyl.es). La diferencia fundamental con el anterior sistema descrito, es el vehículo de transmisión de la información, que en este caso es un correo electrónico, donde llega la recomendación personalizada para cada cultivo a la dirección de correo facilitada por el usuario para dicho fin.

Aprovechando las nuevas tecnologías de comunicación, se ha desarrollado una aplicación gratuita de recomendaciones de riego para dispositivos móviles en formato de App, creada para ofrecer a los regantes un instrumento más intuitivo, versátil y fácil de manejar para la obtención de las recomendaciones de riego de sus cultivos. La aplicación móvil para **InfoRiego®** está disponible gratuitamente en *Google Play* para dispositivos *Android* a partir de la versión 4.0.

Además de la aplicación móvil, se dispone de un servicio REST de recomendación de riego que podrán explotar usuarios colectivos (empresas, comunidades de regantes) a través de sus aplicaciones de gestión del riego. La comunicación *M2M* (machine to machine) que proporciona este servicio permite a estos usuarios disponer de la estimación de las necesidades de riego automáticamente y en tiempo real, para una o varias parcelas y utilizar este dato en sus sistemas de gestión del riego.

También de forma habitual se imparten charlas, jornadas y talleres de riego en Comunidades de Regantes, Cooperativas Agrarias, y/o en eventos organizados por diferentes medios de comunicación del sector agrario, donde se instruye e informa a los regantes en el manejo de las distintas herramientas de recomendación del SAR disponibles.

Como complemento a lo anterior, dentro del SAR se generan una serie de publicaciones sobre información técnica del riego, que están disponibles en el portal *Web* para consulta y/o descarga. Estas publicaciones, se centran más en las necesidades de los cultivos en las distintas zonas de regadío de las campañas de riego pasadas, y se muestran, entre otros datos, las medias de consumos reales por cultivos de cada zona muestreada.

Esta información se muestra y se compara con los datos arrojados por el cálculo que realiza **InfoRiego®** de esos cultivos, en esas zonas regables y en esa campaña de riego.

Esto nos permite realizar una radiografía “grosso modo” del regadío en nuestra Comunidad en cuanto a cultivos implantados y sobre cómo se aplica el riego o se debería de aplicar.

Recientemente, se ha desarrollado el **visor geográfico de InfoRiego®**, que está ubicado dentro del portal *Web* en la siguiente dirección (http://www.inforiego.org/opencms/opencms/visor_inforiego/index.html).

Se trata de una nueva herramienta desarrollada para para mostrar información, en forma de mapas de consumos y necesidades hídricas de los cultivos más importantes y representativos, tanto cultivos herbáceos como leñosos, del regadío en Castilla y León. El nivel de consulta establecido es el de parcela *SIGPAC* y para las recomendaciones de riego a nivel de polígono *SIGPAC*.

El **objetivo** que ha impulsado al *ITACyL* a desarrollar el visor geográfico de **InfoRiego®**, es doble, por un lado, se pretende que los regantes dispongan de acceso a los datos obtenidos por InfoRiego® como información espacial a través de mapas cuyas capas muestran información relativa a la recomendación de riego, el estado de los cultivos, la estimación de los consumos en próximos días, etc.

Por otro lado, se pretende que los regantes lo utilicen como una herramienta de ayuda a la toma de decisiones (HATD), ya que la información representada en cada capa cuenta con una simbología de colores que corresponde a valores en amplios rangos, permitiendo obtener resultados de manera visual e inmediata en la localización deseada.

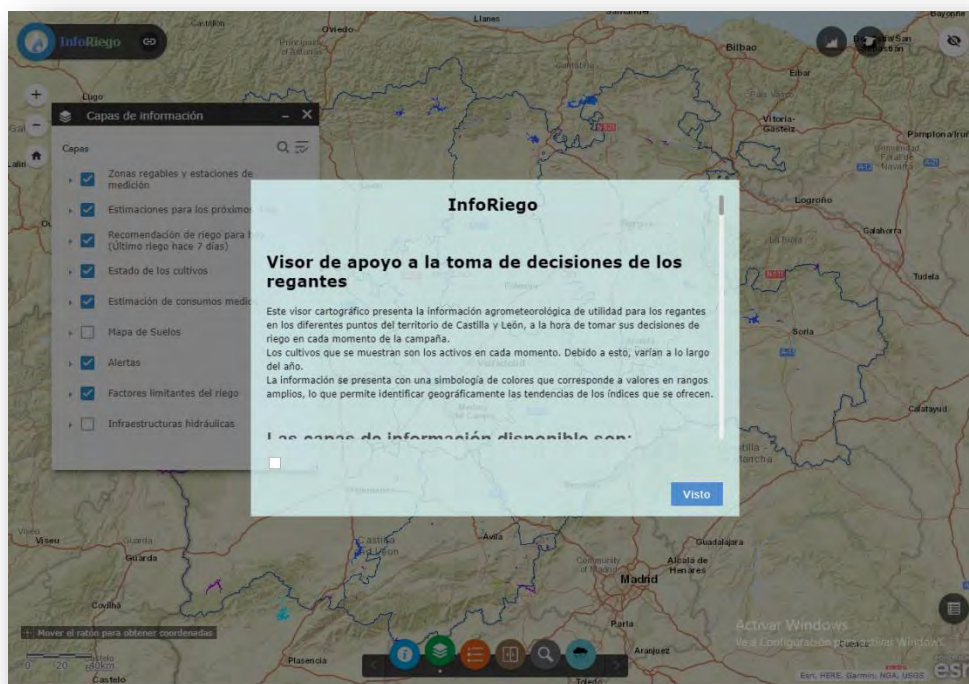


Figura 2.- Pantalla de inicio del Visor

3- MATERIALES Y METODOS

El visor geográfico de **InfoRiego®** ubicado dentro del portal *Web*, está orientado principalmente a mostrar información de consumos y necesidades hídricas de los cultivos más importantes del regadío en Castilla y León, así como otro tipo de información

relacionada con éstos y la aplicación del riego en los mismos, facilitando datos fundamentales para conseguir la mayor eficiencia de los recursos hídricos destinados a este fin.

Los datos complementarios a la información principal de necesidades de riego, suministrados en esta aplicación, hacen referencia entre otros a los factores limitantes del riego, a la situación de las zonas regables, al estado del desarrollo de los cultivos, al estado de los embalses, a alertas de accidentes fisiológicos que se puedan presentar en el cultivo en las fechas más próximas, así como se incorpora información sobre los suelos en forma de distintas cartografías temáticas de los mismos.

Toda esta información que se suministra, se hace de manera gráfica en forma de mapas donde se mostrarán los distintos niveles de información reseñada anteriormente.

En líneas generales el visor contiene una serie de botones y menús con utilidades genéricas situados en las esquinas de la pantalla principal del mismo, además de esto situado a la izquierda de la pantalla nos muestra el listado de las principales capas de información que suministra el visor. En la parte central se muestra la zona principal de esta herramienta, en ella se nos mostrará la información geográfica que hayamos seleccionado para visualizar así como la información alfanumérica resultante de hacer una consulta concreta.

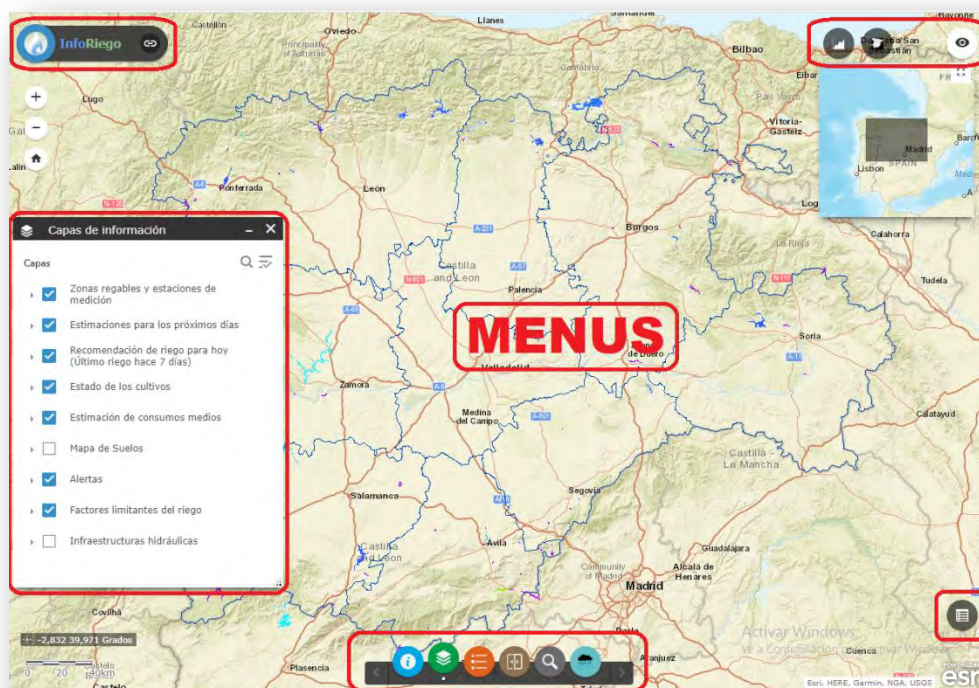


Figura 3.- Distintos menús que integran el Visor

Los botones y menús del visor responden a herramientas estandarizadas que soportan este tipo de herramientas de rápida configuración basadas en la herramienta general que ofrece *ArcGIS-Online*. Estas herramientas comunes a otros visores geográficos de distinta índole nos permiten cambiar la configuración del mapa de fondo, la ventana de navegación sobre el territorio, y una herramienta que nos muestra en forma de gráficas los datos geográficos consultados.

A parte de las mencionadas anteriormente existen otras propias de este visor, en la parte superior izquierda, en el logo de **InfoRiego®** se encuentra los enlaces a la Web de **InfoRiego®** y a la de descarga de la APP.

En la parte inferior derecha está el botón que muestra en la parte inferior de la pantalla la tabla de atributos.

En la parte inferior central existen una serie de botones que de izquierda a derecha nos muestran la ayuda del visor, muestra u oculta las capas de información, muestra la leyenda de la capa seleccionada, parte la pantalla en dos para poder comparar capas, realiza una búsqueda y encuadre de municipios o comunidades de regantes y el último botón nos muestra las predicciones meteorológicas del municipio deseado.

A la hora de consultar la información que nos suministra el visor, una vez que interroguemos una zona en concreto, ésta se facilitará en el ámbito territorial del polígono *SIGPAC* o del término municipal donde se haga la consulta. En las capas de estimación y recomendación de riego y estimación de consumos medios por cultivo, la información se mostrará a nivel de polígono *SIGPAC*, donde además de la recomendación para el cultivo seleccionado (que será el que aparezca en la cabecera de la ventana de información), nos mostrará la información del resto de los cultivos para ese polígono en concreto. En las capas referidas a los factores limitantes del riego y de alertas, la información se mostrará a nivel de municipio.

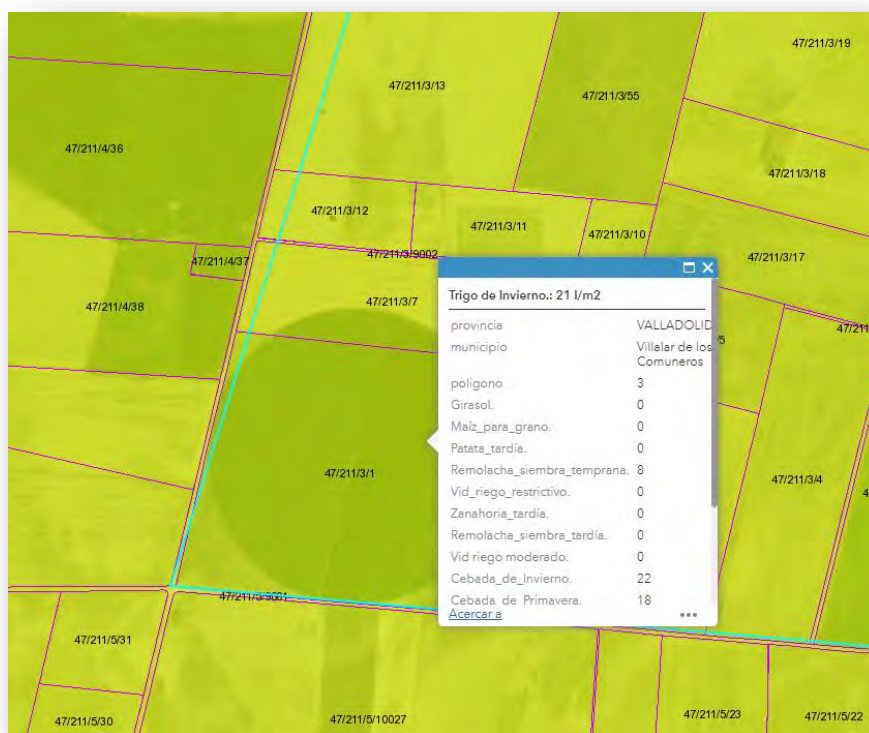


Figura 4.- Consulta recomendación de riego a nivel parcela *SIGPAC*.

Las principales capas de información que muestra esta herramienta agrogeográfica se describen a continuación:

Zonas regables y estaciones de medición

En primer lugar existen dos capas geográficas que nos muestran la cartografía de las zonas regables, así como la situación de las estaciones de **InfoRiego**® dentro de nuestro territorio. Además se muestra en la cartografía general la situación de los distintos embalses

de Castilla y León, permitiendo su consulta y facilitando datos de porcentaje de agua embalsada y volumen principalmente.

Estimaciones para los próximos días

Una importante sección incluida es la correspondiente a la estimación de necesidades de riego para la próxima semana y para cada uno de los cultivos. Se trata de la predicción de consumo venidero de los cultivos a 3 días o a una semana vista, pudiéndose consultar por separado en función de los días deseados. Estará basada esta estimación de futuro consumo hídrico por parte del cultivo, en el cálculo de la ET_0 en función de las predicciones climáticas esperadas para la próxima semana (cálculo que proviene directamente de las predicciones suministradas por la *AEMET*).

El otro apartado que compone esta capa de información del visor representa las predicciones de precipitación prevista para los próximos 3 y 7 días, que se muestran en apartados diferentes en función del periodo. Esta capa muestra la cantidad de precipitación esperada (l/m^2), utilizando igualmente datos facilitados por la *AEMET* para los próximos 3 y 7 días.

La información de estas capas se actualiza diariamente dos veces al día, además de esta frecuencia es necesario destacar que se ha implementado un mecanismo de actualización del desarrollo de los cultivos en función de la latitud de nuestro territorio, esto significa que con mayor incidencia al inicio y a la senectud del cultivo en función del cultivo se verá avanzar o languidecer los distintos cultivos hacia latitudes septentrionales.

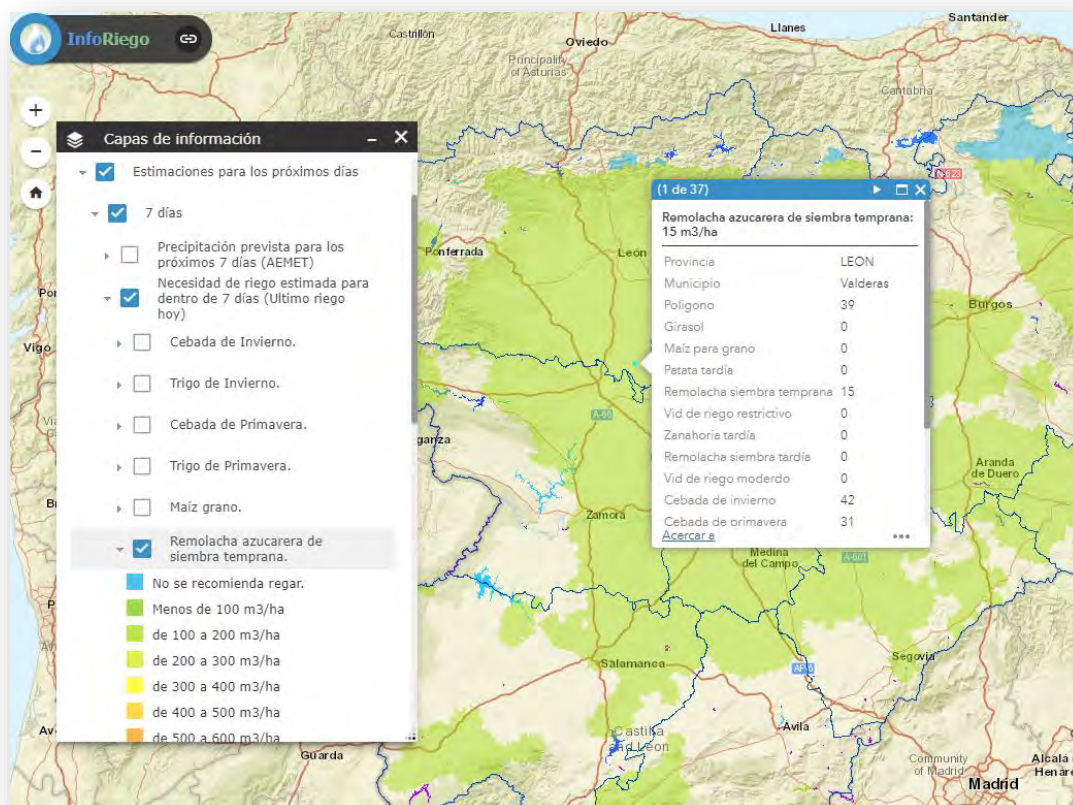


Figura 5.- Consulta estimación de riego a nivel parcela SIGPAC.

El mecanismo mencionado anteriormente, consiste más concretamente en un desfase temporal y de locación que se ha implementado en las capas de recomendaciones y de estimaciones de riego.

Los cálculos del visor en cuanto al riego, están basados en un arranque de los mismos en una determinada fecha de siembra típica, o fecha promedio, que se establece como referencia para cada cultivo, y dada la amplitud del territorio de Castilla y León, la realidad es que esta fecha debe considerarse diferente en función de las condiciones agroclimáticas de cada zona. Una aproximación sencilla para intentar emular esta realidad (distintas fechas de siembra típicas o estándar, para cada cultivo y zona, dentro de Castilla y León), es la de implementar un mecanismo de desfase del comienzo del cálculo de las recomendaciones y estimaciones en función de la latitud y con una dirección geográfica de avance de sur a norte.

Por lo tanto, en el Sur de nuestro territorio arrancan los cálculos una serie de días antes de la fecha estipulada como de inicio del ciclo de cultivo, mientras que en el centro de Castilla arrancan los cálculos en su fecha de siembra fijada como promedio general. Este desfase va recorriendo el territorio de sur a norte, llegando a empezar el cálculo en la parte más al norte de nuestro territorio varios días después de la supuesta fecha marcada como inicio de ciclo para el cultivo seleccionado.

Como se ha dicho, es un sistema que de una manera sencilla se aproxima suficientemente a la realidad de la asimétrica evolución de los cultivos en nuestro territorio, que no desvirtúa apenas los valores de las recomendaciones mostradas y que ese efecto de evolución en el cultivo, lo permite compensar la pérdida de exactitud en el cálculo del riego, que se derivaría de aplicar una única fecha de inicio del cultivo en todas las zonas de la región, al realizar el cómputo global de la campaña.

En la senescencia del cultivo el mecanismo de desfase funciona de igual forma, según va finalizando el ciclo del cultivo se activa este sistema (también en dirección sur a norte), donde se puede observar la evolución geográfica del punto final de la temporada de riego para un determinado cultivo en el visor.

Recomendación de riego para hoy

Esta es la capa de información principal del visor de **InfoRiego®**, en esta colección de mapas se mostrará las recomendaciones de riego de la última semana de los cultivos más representativos del regadío de Castilla y León, representando de manera gráfica las recomendaciones de riego de nuestro sistema. Estas recomendaciones son más generalistas que las que ofrece el portal *Web* de **InfoRiego®**, ya que en este se pueden ajustar los parámetros exactos del cultivo, mientras que el visor tiene que mostrar una situación media de las distintas fases del desarrollo de los cultivos.

Este cálculo está basado en los datos recogidos en la red agroclimática de **InfoRiego®**, utilizando los mismos cálculos que los que se realizan en el portal *Web*.

La información de estas capas se actualiza diariamente, y al igual que las capas de las estimaciones de consumo, también disponen del mecanismo de actualización del desarrollo de los cultivos en función de la latitud.

Estado de los cultivos

Mención aparte merece otra de las capas de este visor, que es la que refleja la estimación del coeficiente de cultivo (kc) mediante análisis de imágenes satélite (teledetección) procedentes de los satélites de la Agencia Espacial Europea (ESA), *Sentinel2A* y *Sentinel2B*, con frecuencias de 5 días de revisita. Esta estimación está basada en el análisis del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, también conocido como *NDVI*, el cual muestra fundamentalmente el vigor y desarrollo de la vegetación.

Una vez que está calculado el *NDVI* se aplica la fórmula propuesta por Calera et al., 2016 de obtención del coeficiente de cultivo único (K_c), cuya fórmula se adapta bastante

bien a los cultivos herbáceos, de mayor representatividad entre los cultivos de regadío de Castilla y León.

La publicación de estos productos se realizarán fundamentalmente durante la campaña de riego (Abril-Octubre), la actualización de estos productos derivados se realizará en función de la disponibilidad de imágenes, se utilizarán aquellas que se consideren útiles (en función del territorio libre de nubes) y donde la existencia de cultivos de regadío sea notable.

Estimación de consumos medios

Existe también una capa que recoge los datos por cultivo de valores medios de necesidades hídricas de todo el ciclo de cultivo, elaborados con toda la serie histórica de datos recogidos en la red agroclimática de **InfoRiego®**.

Estos mapas de consumos medios de los cultivos, se pueden consultar divididos en dos colecciones. La primera muestra los valores de los consumos medios anuales acumulados a lo largo de toda la campaña por cultivo. La segunda colección desgrana los consumos medios mensuales, mostrándose por meses dentro del ciclo y por cultivo.

Mapa de suelos

En otro apartado, se hace referencia a la parte más terrestre del visor de apoyo a los regantes, “el suelo”. Aquí se muestra el “Mapa de suelos” de Castilla y León, que consiste en una colección de mapas ya publicados en el Portal de suelos de Castilla y León del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León <http://suelos.itacyl.es/>.

Con los datos básicos se han podido realizar interpolaciones aplicando métodos geoestadísticos para obtener imágenes raster continuas de todo el territorio, en las que se puede consultar el valor de los parámetros interpolados. También se representan en el visor los mapas interpolados de materia orgánica, arena, limo y arcilla para, mediante álgebra de mapas, calcular diversas propiedades hidráulicas del suelo.

Alertas

En la siguiente sección que muestra las alertas de accidentes fisiológicos que puedan sufrir los cultivos. Son alertas basadas en datos recogidos de la **AEMET** y en un primer momento están centradas en heladas, tormentas y en el asurado de cereales.

Las heladas se muestran en dos capas que responden a distintos plazos temporales, el primero sería el de “*Heladas corto plazo*” que abarca un periodo de 72 horas. Si se interroga alguna parte del mapa muestra un menú que facilita datos de las temperaturas esperadas y la hora prevista de inicio y fin de la helada.

El segundo apartado de las heladas hace referencia a las “*Heladas plazo medio*”, que abarca una semana completa, suministra información de las temperaturas mínimas esperadas en los próximos 7 días.

En la capa que hace referencia al “*Asurado cereales / Riesgo de incendio en cosecha*”, se mostrará el grado de riesgo existente de que se produzca alguno de estos fenómenos a nivel de municipio. Se mostrarán al final de la campaña y solo para el cultivo de los cereales. El mapa se coloreará y nos mostrará el riesgo yendo desde el “Potencialmente peligroso” hasta el “Riesgo extremo”.

La última alerta se refiere al fenómeno de las “*Tormentas*”, estas colorearán el mapa de municipios en función de si es una tormenta sin precipitación, si es una tormenta con precipitación moderada o si es de riesgo extremo.

Factores que influyen en el regadío

En esta sección se muestran aquellos factores tanto climáticos como estructurales de disponibilidad de recursos hídricos, que tienen influencia directa a la hora de realizar el riego por parte de los agricultores, los factores climáticos, basados en cálculos a partir de datos recogidos de la *AEMET*, se muestran con la intención de realizar el riego de la manera más eficientemente posible desde el punto de vista del aprovechamiento del agua.

La primera capa muestra la Influencia del viento en el riego (mejor periodo de al menos 4 horas), dividido en función del efecto que tiene este fenómeno sobre la uniformidad del riego, se muestra desde una muy baja influencia hasta la recomendación de no regar. Nos da información si consultamos el mapa de la velocidad media y las horas del mejor periodo para regar.

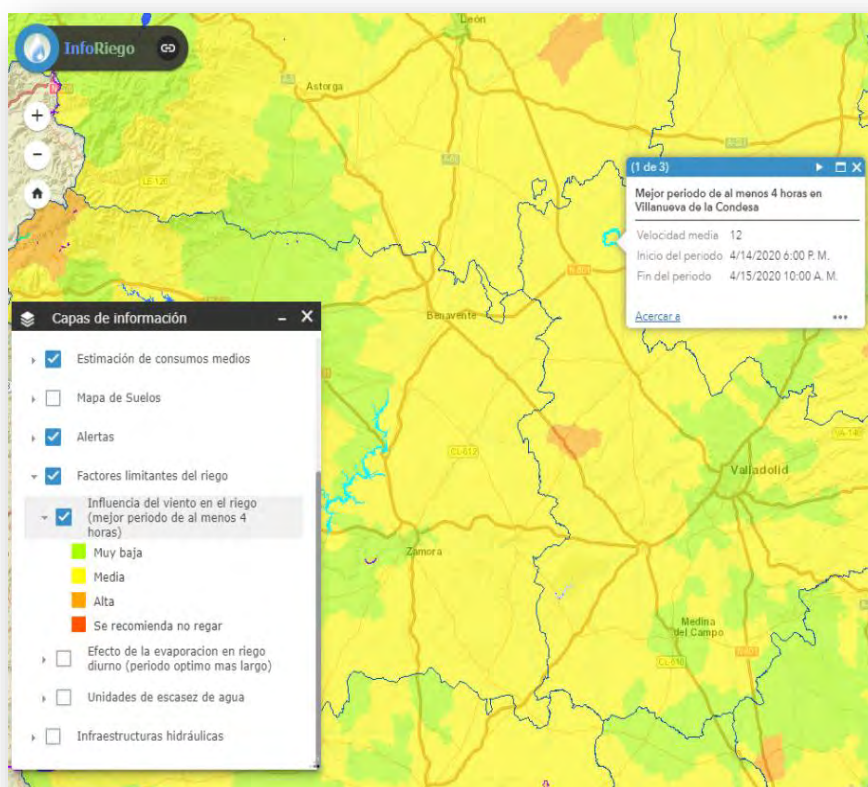


Figura 5.- Influencia del viento en el riego.

En esta otra capa se representa el Efecto de la evaporación en riego diurno sobre el riego de los cultivos. El mapa muestra por zonas el número de horas disponibles para realizar un riego efectivo, cuando la evaporación sea mínima. En esas zonas, la pérdida de agua por evaporación apenas tiene incidencia, siendo esta consecuencia directa de los condicionantes ambientales existentes justo en el momento de aportar el agua al cultivo. Conviene recordar que solo muestra las horas diurnas, el riego nocturno está excluido de este índice.

En la tercera capa, se exponen las Unidades de escasez de agua, se muestran en una única cartografía los mapas publicados por las distintas confederaciones hidrográficas que afectan al territorio de Castilla y León, donde se muestra información del estado de las subcuencas hidrográficas desde el punto de vista de la disponibilidad de recursos hídricos de que disponen en el momento de la publicación. Estos son los recursos hídricos de los que dispondrán todos los regantes en el transcurso de la campaña de riego, se mostrarán los estados desde la normalidad hasta la emergencia hídrica.

4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La incorporación de este visor geográfico dentro de las aplicaciones disponibles en el servicio de asesoramiento al regante **InfoRiego**[®] supone que, tanto los regantes a título individual, como los técnicos de las Comunidades de Regantes o simplemente interesados en el regadío puedan disponer de otra importante herramienta que les sirva para tener una visión más amplia de las necesidades hídricas de los cultivos dentro de Castilla y León.

Este sistema aparte de aportar esa visión más de conjunto de las recomendaciones de riego y los factores que en ellas influyen, permite un grado de acercamiento a lo particular llegando al nivel de información del polígono *SIGPAC*, que es la unidad más básica de información que muestra el visor, aunque la mínima representación que se muestra sea a nivel de parcela. Esta dualidad en su visión y funcionamiento permite de manera muy rápida obtener esa visión de conjunto del regadío en nuestro país sin perjuicio de hacer inmediatamente después una consulta de una parcela concreta de dichas necesidades (aunque la información facilitada se muestre a nivel de polígono), todo esto es debido a la gran capacidad y agilidad que posee el visor a la hora de navegar, localizar y mostrar la gran cantidad de información contenida en sus distintas capas.

Con todo lo dicho anteriormente, también se ha de ser consciente que a pesar de que toda la información que suministra el visor de **InfoRiego**[®] se hace de manera estructurada y escalada así como localizada, es recomendable darse un tiempo de investigación y manejo para poder manejar toda la información y saber gestionarla sacando el máximo partido de la misma de cara al regante o al técnico.

Es fundamental tener presente que estos mapas permitirán al usuario poder observar lo que ha consumido un determinado cultivo en la semana anterior y ver la predicción o tendencia del futuro consumo en la próxima semana. Además, a esto habría que añadir la precipitación esperada para dibujar una composición exacta de lugar de cara a que el regante sea capaz de decidir el momento más apropiado para efectuar los distintos riegos y diseñar la dosis de los mismos.

Concretamente, un regante que tenga intención de regar sus cultivos a lo largo de la semana podrá planificarlos utilizando el visor de la siguiente manera:

Localizará la parcela *SIGPAC* donde tenga su cultivo, una vez hecho esto, consultará las recomendaciones de riego de su cultivo, con lo que sabrá que agua tiene que aportarle para compensar el consumo que ha hecho este en la semana anterior. En la consulta, al pinchar sobre la parcela, el visor facilitará la recomendación de riego para todos y cada uno de los cultivos recogidos en el sistema, dará la recomendación a nivel de polígono *SIGPAC*, con lo cual, si el regante tiene más parcelas con distintos cultivos en esa zona concreta, podrá visualizar los consumos de todos de un vistazo.

Una vez que se conoce el agua necesaria, se consulta las estimaciones para los próximos días (3 y 7), donde se verá la tendencia de consumo de dicho cultivo a lo largo de la próxima semana y la cantidad de precipitación esperada en dicho periodo. Esta información nos permite corregir las recomendaciones en función del consumo esperado, pudiendo aumentar la dosis de la recomendación si la tendencia es a la alza o ceñirse a la dada por el sistema si no es así. También facilita la planificación del riego, ya que si se esperan precipitaciones significativas, esto permitirá ajustar el momento y el volumen del riego en función de lo que realmente llegue a llover.

También ayudará a elegir el momento o la frecuencia del riego el apartado del visor que hace referencia a los distintos mapas de suelos que contiene, más concretamente aquellos que se refieren a la textura y la permeabilidad, en función de la cual adoptaremos una estrategia de riegos más frecuentes y de menor volumen o todo lo contrario. Otros hacen referencia al agua en el suelo (humedad de saturación, capacidad de campo, punto de marchitez y capacidad de retención de agua) que serán muy útiles a la hora de hacer nuestro balance hídrico de las parcelas de cultivo en regadío.

En lo tocante a las recomendaciones de riego, es necesario mencionar que el regante más conocedor de la metodología del cálculo de la dosis de riego, dispone de una alternativa a la recomendación directa del visor. Esta alternativa consiste en disponer de un coeficiente de cultivo (K_c) calculado a partir de imágenes de satélite (*Sentinel2*), este coeficiente alternativo, combinado con el valor de la evapotranspiración que se facilita en el portal *Web* de **InfoRiego**[®], servirá para obtener una recomendación más ajustada al particular desarrollo de los cultivos, propio de cada campaña de riego.

Una vez decididos los riegos se puede consultar si en las próximas horas son factibles desde el punto de vista de la uniformidad y la eficacia. La primera de ellas la suministra la influencia del viento en el riego, que se muestra a nivel del municipio donde está la parcela de nuestro interés, graduada desde una influencia baja hasta el extremo que no se recomienda regar, dando el mejor periodo de al menos 4 horas donde mejor se pueda realizar el riego mostrando la hora inicial y final de este. En cuanto a la eficacia, directamente relacionada con la evaporación, mostrará la duración del periodo diurno más favorable para regar en horas, mostrando la hora inicial y final así como los valores de humedad, temperatura y velocidad del viento que son los que más influyen en la evaporación del agua de riego.

Además de todo lo dicho anteriormente y aunque no esté directamente relacionado con el riego, tendremos un apartado de alertas donde se podrá consultar fenómenos climáticos adversos que puedan sufrir nuestros cultivos. Siendo los más importantes el tema de las heladas a corto o medio plazo que nos puedan afectar, donde dependiendo del cultivo se pueda realizar un riego como método de defensa ante las mismas. También se muestran las tormentas que se puedan producir en las próximas horas y el riesgo de asurado en cereales, donde el riego también puede disminuir los daños.

El ejercicio teórico hecho anteriormente de consulta de datos del visor, muestra de una manera sencilla y organizada un método de planificación y diseño del riego muy efectivo y cómodo a realizar por cualquier usuario de la herramienta *Web*.

Las otras capas de información que existen en el visor y que no se han usado en el teórico caso anterior, muestran información muy interesante tanto para un regante en particular como para un técnico o miembro de una comunidad de regantes.

Esta información que muestra el visor puede facilitar datos interesantes para planificar la campaña de riego o ver su evolución, estaríamos hablando del estado de los embalses que facilita datos en tiempo real del volumen de los mismos, la estimación de los consumos medios por cultivo y año o mes si se prefiere.

5- CONCLUSIONES

El leitmotiv primordial del servicio de asesoramiento al regante de Castilla y León (**InfoRiego**[®]), es la necesidad de mantener y aumentar la efectividad del servicio de asesoramiento mediante nuevos desarrollos dirigidos a la mejora de la gestión del agua por parte de todos los actores implicados en el regadío de nuestro territorio buscando la

eficiencia y productividad máxima de este recurso en su uso en los regadíos de nuestro territorio.

En las siguientes décadas se atisba un panorama incierto en cuanto a la disponibilidad de recursos hídricos para el riego, a esto hay que sumar que en la próxima ejecución de Infraestructuras de desarrollo rural en Castilla y León por parte de la Consejería de Agricultura, se aumentará significativamente la superficie de regadío tanto en nuevo como en modernizado.

Todo ello nos obliga a tener un mayor control en la aplicación del agua disponible para el riego y hacer un uso más eficiente de esta agua, ya que la disponibilidad de la misma no estará garantizada en los mismos volúmenes que disponemos hoy día, buscaremos aumentar la productividad del agua disponible en cada campaña de riego. No se ha de perder de vista que el coste de agua de riego es uno de los más importantes dentro de las explotaciones de regadío, siendo su adecuada gestión fundamental para la viabilidad económica de dichas explotaciones, sin olvidar la derivada medioambiental que supone la correcta gestión de este bien público imprescindible.

Este desarrollo permite ofrecer una visión global actualizada permanentemente sobre las demandas presentes y futuras en los principales cultivos de regadío de Castilla y León en el transcurso de la campaña de riego, teniendo también la capacidad de focalizar parcelas concretas de regadío para adecuar sus recomendaciones de riego al desarrollo real del cultivo.

Parece incuestionable que tecnología y agricultura de precisión van de la mano y en lo referente a la precisión en el cálculo de las necesidades de riego mediante la unión de redes agroclimáticas, sistemas de información geográfica e imágenes de satélite proporcionará a los usuarios una herramienta lo suficientemente potente y necesaria para tomar la decisión correcta sobre el riego a aplicar a sus cultivos, a pie de parcela y a tiempo real, todo esto lo aúna en una sola herramienta el visor geográfico de *InfoRiego*[®].

El desarrollo del visor de *InfoRiego*[®] permite situar a este servicio en línea con las nuevas tecnologías del siglo XXI, permitiendo ofrecer **servicios y consultas a “tiempo real”** y a pie de parcela, servicios que los **regantes de hoy en día cada vez demandan más**, englobados en las prácticas de cultivo cada vez más implantadas bajo la denominación de agricultura inteligente (*Smart Farming*).

6- BIBLIOGRAFÍA

ALFONSO CALERA, ISIDRO CAMPOS Y JESÚS GARRIDO.

Determinación de las necesidades de agua y de riego mediante estaciones meteorológicas y series temporales de imágenes multiespectrales. Universidad de Castilla la Mancha, Nov 2016. Disponible en web: http://maps.spiderwebgis.org/media/customlogins/spider-siar/assets/RiegoTeledeteccion_y_SIAR_en_cultivos_ACalera_et_al_2016_30_NOV.pdf

B-17-2020

ANÁLISIS DE UNA BOMBA TRABAJANDO COMO TURBINA PARA LA RECUPERACIÓN DE ENERGÍA EN UNA RED DE RIEGO DE LA C.R. PICASSENT (SECTOR IV)

Gómez Bonastre, A. (1) (P), Palau Estevan C.V. (2), Balbastre Peralta, I. (3)

¹ Estudiante de Máster Ingeniería Agronómica, Universitat Politècnica de València (UPV), Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, algobo@etsiamn.upv.es

² Docente e Investigadora, Dpto. DIRA, Universitat Politècnica de Valencia, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, virpaes@agf.upv.es

³ Docente, Investigador y Responsable del Laboratorio Ingeniería Rural, Hidráulica y Riegos (LIHR), Dpto. DIRA, Universitat Politècnica de Valencia, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, ibbalpe@agf.upv.es

Resumen

El objetivo del presente trabajo es el análisis energético de un sistema de riego en el Sector IV de la Comunidad de Regantes de Picassent para instalar una bomba trabajando como turbina (Pump As Turbine, PAT). El análisis de la eficiencia energética en redes de riego permite determinar y aprovechar la energía hidráulica disponible en el sistema de riego con el objetivo de obtener una instalación lo más autosuficiente posible. En este trabajo se estudiará a través de simulaciones en EPANET una red abastecida por gravedad desde la balsa de San Rafael (T. M. Picassent) a una cota de 165 m hasta una zona regable donde los hidrantes multiusuario reciben presiones excesivas a cotas en torno a 95 m.

Para ello se decide instalar una PAT que permita recuperar el posible excedente de energía, estudiando cuatro escenarios diferentes de distribución del riego. La zona regable tiene diferentes cultivos leñosos en producción, con una dominancia de los cítricos, teniendo por otro lado aguacates y caquis. Estos cultivos cubren una superficie aproximada de 30 ha. Se realizará un diseño agronómico para estimar las necesidades de riego que tienen los cultivos durante el año y la posible organización del riego en función de los escenarios contemplados.

Finalmente, se propone un nuevo modelo de la red con las demandas de agua previstas y se estima la energía recuperable para cada escenario garantizando el correcto funcionamiento del sistema a lo largo de la campaña de riego. De esta forma, se concluirá sobre las condiciones idóneas para la implantación de la PAT en una red de riego.

“Abstract”

The aim of this project is the energetic analysis of an irrigation system belonging to the Water Users Association (WUA) of Picassent's municipality, located in the Sector IV, and assess the possibility of installing a Pump working as a Turbine (PAT). This type of analysis allows us to evaluate the energetical efficiency and take advantage of the hydric energy availability.

This project is divided into two different parts. The first part is related to the irrigation system, the estimation of the hydric and soil requirements will be carried out in accordance with the crops needs. Filling an area of approximately 30 hectares, the irrigation system will

supply three different types of woody crops: citrics, avocado and khaki. The design of this part will be composed of the agronomic design in accordance with the characteristics of the crops, the selection of irrigation sectors and finally, the size of the pipelines.

The second part is related to the PAT, the one that will be used to produce energy from the energy jump between the water deposit and the multioutlet hydrant. To be able to study both parts and obtain consistent results, four different scenarios of irrigation sectorization will be presented in accordance with the real operating situations.

Finally, it will be able to estimate the energy recovery from this system during a year in accordance with the water supply. It will allows us to evaluate the efficiency and self-sufficiency.

1- Introducción. Objetivo del Trabajo.

Al realizar un repaso y comparativa de las fuentes de energía de carácter renovable, una de las más importantes y empleadas en todo el mundo, desde antaño, es la energía hidráulica. Desde la segunda mitad del siglo XX, se han desarrollado importantes infraestructuras hidráulicas para abastecimiento y producción energética a través de turbinas de gran calibre, aferrándose como una de las primeras fuentes energéticas limpias y de bajo coste. Sin embargo, la explotación continua de este tipo de tecnología a gran a escala ha restado importancia a la posibilidad de producir energía a partir de pequeñas corrientes o flujos generados en sistemas de distribución a presión.

En este contexto, y relacionándolo con el ámbito de la agronomía, resultó interesante llevar a cabo un estudio técnico-analítico sobre ciertas condiciones existentes en redes de riego a presión, para las cuales se dificulta la aplicación de turbinas, pese a la posibilidad existente de recuperación energética. Ello se debe al elevado coste de esta tecnología y su amortización, para el caso de instalaciones de pequeño calibre, donde el rango de caudales y alturas recuperables no se adecua con las prestaciones generales de las turbinas hidráulicas.

Por esa razón, una de las soluciones investigadas desde hace un corto periodo de tiempo es la aplicación de bombas centrífugas de pequeño calibre, que actúen a la inversa de su funcionamiento normal, obteniendo energía de sistemas de distribución por gravedad. En estos últimos, se suelen emplear válvulas reductoras de presión para reducir la sobrepresión generada y permitir un correcto funcionamiento del sistema, por lo tanto, parte de la energía generada se pierde y la instalación pierde eficiencia.

Con el fin de ampliar la información y los estudios sobre este tipo de tecnología, nace el objetivo principal del presente trabajo : diseñar y dimensionar una red de riego a presión abastecida desde un depósito por gravedad e implantar una bomba trabajando como turbina, con el fin de cuantificar la recuperación energética posible en función de las condiciones de funcionamiento de la instalación.

Desafortunadamente, la inclusión de bombas actuando como turbinas ("Pump working As a Turbine", PAT) en conducciones a presión se ve limitada debido a la falta de información sobre los puntos de operación de la máquina hidráulica, reflejados a través de sus curvas características ($Q-H$; $Q-\eta$). Así pues, al no conocer ni poder predecir el comportamiento de la PAT, se dificulta su empleo y aplicación.

De esta forma, se propone el estudio analítico de la implantación de una PAT en una red de riego de la Comunidad de Regantes de Picassent, aprovechando el desnivel existente entre una de las balsas de regulación y la zona objeto de proyecto.

Por consiguiente, a fin de aportar rigurosidad al estudio experimental, se ha procedido a establecer diferentes escenarios en la organización del riego, los cuales permitan concluir sobre las condiciones que maximizan el aprovechamiento energético del desnivel existente.

2- Descripción del tema. Proceso de ejecución del Trabajo.

Tras la recopilación de los parámetros referentes a los cultivos y la zona de proyecto, así como el establecimiento de los escenarios de riego pertinentes, se realiza un dimensionado técnico-óptimo para cada escenario de la red de transporte utilizando la herramienta informática RGWin (Arviza, 2020). Asimismo, se aplica una metodología experimental para la obtención de las curvas de operación analíticas de la PAT, mediante el empleo de métodos empíricos, a partir de una bomba centrífuga seleccionada de cualquier catálogo. Tales curvas se requieren para la simulación de la instalación en cada uno de los casos, observando la energía y potencia recuperables en función de las condiciones de trabajo.

2.1- Diseño Agronómico de la zona regable.

Primeramente, es de vital importancia obtener los datos y parámetros permitiendo caracterizar la zona objeto de estudio. De esta forma, para abordar el diseño agronómico, se requiere extraer información acerca de la cartografía, climatología, edafología e hidrología de la zona, puesto que uno de los objetivos y alcances de este proyecto es la sostenibilidad y eficiencia en el empleo de los recursos naturales. Para ello, se ha acudido a fuentes de información como las bases cartográficas del IGN (Instituto Geográfico Nacional) y del ICV (Instituto Cartográfico Valenciano) para obtener los datos y documentos necesarios y poder visualizar la topografía del terreno, además de realizar correctamente el diseño de la red de riego.

Las parcelas de riego objeto de estudio se encuentran en la Comunidad de Regantes del término municipal de Picassent, perteneciente a la comarca de L' Horta Sud, situada al sur de la ciudad de Valencia. Para la realización del proyecto se han seleccionado un total de 44 parcelas, abarcando una superficie total de 30,48 ha.

Consultando los datos meteorológicos ofrecidos en la red SIAR (Servicio de Información Agroclimática para el Regadío), se recogen los asociados a la estación meteorológica de Picassent: evapo-transpiración (ET_o), precipitación efectiva (Pe), temperaturas medias y más extremas (T_m, T_{máx}, T_{min}).

En referencia a la edafología y textura del suelo, se obtiene del ICV la litología de la zona, concluyendo que la textura del suelo en la zona objeto de estudio es franca-arcillosa -arenosa. Ello favorecerá la retención de agua a nivel radicular, siendo en cantidades controladas bueno para los cultivos.

A nivel hidrológico, el agua de riego empleada para abastecer a los cultivos proviene de la Balsa San Rafael (capacidad de 15.000 m³), uno de los cinco depósitos de acumulación del Sector IV de la Comunidad de Regantes de Picassent- Alcásser. Cabe resaltar que existe un salto aprovechable entre la balsa de alimentación y el nudo aguas abajo donde se ubica la PAT de 65 metros, lo cual se traduce en un aumento de energía de presión aprovechable y controlable.

Por último, se especifica los cultivos seleccionados y el porcentaje de ocupación, lo cual modificará las necesidades totales, y las específicas de cada cultivo. Primeramente, se resalta la dominancia del naranjo (*Citrus x sinensis* Osb.), ocupando el 60% de la superficie regable, debido a ser uno de los cultivos más importantes y mejores adaptados de la zona. Seguido del caqui (*Diospyros kaki* L.), ocupando el 30% de la superficie regable, siendo uno de los cultivos más habituales en la comarca de la Ribera del Júcar y obteniendo una notable fama debido al valor organoléptico que reciben sus frutos. Por último, el aguacatero (*Persea americana* Mill.), ocupando el 10% de la superficie regable, una especie en auge en los últimos años en ciertas partes del litoral mediterráneo por su valor socioeconómico.

Una vez caracterizada la zona y recogidos los valores de los parámetros necesarios, se determinan los requerimientos totales de los cultivos, así como los tiempos de riego especializando para cada cultivo.

Los datos más relevantes hacen referencia siempre al periodo de máximas necesidades, pues es ahí donde la planta requiere mayor aporte hídrico para su crecimiento y desarrollo. De esta forma, se obtienen las necesidades totales de riego (en el presente caso para el mes de julio), el caudal unitario por unidad de superficie (específico para cada cultivo) y el tiempo de riego diario por parcela.

2.2- Dimensionado de la red de distribución a presión.

El dimensionado de la red de transporte se ha realizado siguiendo el criterio de optimización técnico-económica, el cual busca reducir al máximo los costes totales de la instalación (energéticos y de amortización), pese a ser los primeros nulos en nuestro caso. Al ser una conducción por gravedad, no se requiere la introducción de grupos de elevación.

Al aplicar este criterio se asegura una reducción al máximo de los costes asociados a las tuberías, induciendo positivamente en la sostenibilidad y eficiencia de la instalación. Sin embargo, la aplicación informática empleada en el dimensionado (RGWin) requiere de datos correctos y reales acerca de las longitudes de los tramos de las tuberías y las cotas de los nudos de consumo (y bifurcación). Para ello, se realiza el trazado de la red empleando el programa informático QGis 3.4, el cual permite cargar una serie de capas para simular a la perfección las condiciones del lugar donde se aborda el proyecto.

Conocido el criterio seguido en el dimensionado, es importante especificar como se aborda la sectorización y organización del riego. Primeramente, el número máximo de sectores (NS_{máx}) será función de la jornada efectiva de riego (JER) y el tiempo de riego diario en el periodo de máximas necesidades. Dependiendo de la jornada efectiva de riego seleccionada, la sectorización se verá modificada lo que afectará directamente tanto al dimensionado de la red de riego como a la PAT seleccionada y la energía recuperada por esta.

Por otro lado, la organización del riego en el presente proyecto se ha llevado a cabo por turnos, agrupando parcelas de riego por hidrante multiusuario en base a las restricciones asociadas a estos. Con el objetivo de abordar las posibles distribuciones por turnos de las parcelas de riego, se han establecido cuatro escenarios diferentes, atendiendo a la organización de las parcelas (automatización a nivel de hidrante o a nivel de parcela) y a la JER (variando la jornada de 8 a 16 horas para cada caso). Los escenarios establecidos quedan de la siguiente forma:

- *Escenario 1:* Automatización con electroválvula a nivel de hidrante, JER de 8 horas y 3 sectores.
- *Escenario 2:* Automatización con electroválvula a nivel de hidrante, JER de 16 horas y 5 sectores.
- *Escenario 3:* Automatización con electroválvula a nivel de parcela (usuario), JER de 8 horas y 3 sectores.
- *Escenario 4:* Automatización con electroválvula a nivel de parcela (usuario), JER de 16 horas y 5 sectores.

Los hidrantes multi-usuario llevan asociados unas condicionantes que afectan directamente a su distribución en un sistema de riego localizado, así como las posibles parcelas a las que puede abastecer. Por regla general, se estima que cada hidrante puede abastecer a un máximo de 10 parcelas, para lo que requiere un mínimo de presión de trabajo de 25 metros de columna de agua. Asegurando este valor en cada nudo de consumo (hidrante), se garantiza el correcto funcionamiento del sistema y el abastecimiento a las subunidades más desfavorables.

Por último, con el fin de simular la disposición de la PAT aguas abajo del nudo de alimentación, se estima un valor de pérdidas de carga en la línea donde se coloca la máquina. La primera estimación de pérdidas de carga asociada a la PAT para el dimensionado corresponde a 20 mca. De esta forma, el programa informático empleado en el dimensionado

de la red de riego, puede determinar matemáticamente la presión en las conducciones aguas debajo de la PAT.

2.3- Instalación de la PAT (*Pump working as a turbine*)

Previamente se ha hecho hincapié en la dificultad de incluir turbinas convencionales en este tipo de sistemas de distribución. Es por ello, las bombas trabajando como turbinas se presentan como una alternativa en redes de pequeño calibre para la recuperación energética. Si bien se dificulta la predicción de su comportamiento, son unas máquinas rudimentarias ampliamente producidas, ante la variabilidad de caudales y presiones requeridas, lo que conlleva una reducción importante en los costes de la propia máquina (tomando una turbina convencional de dimensiones similares) y del mantenimiento.

Desafortunadamente, hoy en día pocos estudios y fabricantes de bombas muestran el comportamiento de estas máquinas en diferentes condiciones de trabajo, teniendo que acudir a ensayos experimentales que pronostiquen el funcionamiento de la bomba en modo turbina a través de la determinación de las curvas características de operación.

La principal diferencia entre los dos estados de funcionamiento de la máquina es la dirección del flujo y el sentido de rotación del eje, donde el triángulo de velocidades del fluido a la salida de los álabes se ve modificado. Pese a la ligera diferencia, se asume una equivalencia en los ángulos de los flujos entrantes y salientes al elemento impulsor. Tal equivalencia permite relacionar la máquina en los dos sentidos de operación, para lo cual se establece una altura de presión generada y obtenida similar. La ligera diferencia en la altura dependerá del rendimiento de la máquina y de la variabilidad en las condiciones de funcionamiento, referentes a la altura y el caudal circulante.

Previamente se ha comentado la dificultad que conlleva la obtención de las curvas de operación de las bombas en modo turbina, a causa de la reducida información aportada por los fabricantes, lo que se presenta como la una desventaja importante asociada al empleo de las PAT. Como resultado, varios investigadores en el campo de las máquinas hidráulicas han propuesto diversos métodos empíricos que permiten obtener las curvas características a partir del Punto Óptimo de Funcionamiento (Best Efficient Point, BEP) de la bomba. Para ello, se requiere conocer las condiciones de funcionamiento de la instalación donde se instalará la PAT, variando en el presente caso según el escenario contemplado.

Los parámetros hidráulicos requeridos para cada escenario objeto de estudio son el caudal máximo circulante y la altura recuperable esperada (inicialmente se establecen 20 mca recuperables, tal valor es el aplicado para llevar a cabo el dimensionado de la red). Además, se estima un rendimiento de la bomba actuando como turbina del 70% para iniciar el procedimiento iterativo.

Una vez aclarados estos parámetros, se procede a aplicar el método empírico descrito por Sharma Williams (1994) para la determinación de los coeficientes de caudal, altura y rendimiento, obteniéndose de esta forma los parámetros referentes a la bomba en su Punto Óptimo de Operación.

Llegados a este punto, para cada escenario se selecciona una bomba centrífuga de catálogo que se adecue a las condiciones de trabajo en su punto óptimo de funcionamiento. Así pues, se pretende determinar la velocidad específica de la bomba en su punto óptimo de funcionamiento según la expresión propuesta por Mijailov (1989), el cual relaciona el rendimiento, caudal y altura impulsada por la bomba.

A través de los ensayos experimentales llevados a cabo por los investigadores, se han estimado unas curvas en base a dos coeficientes adimensionales de altura (ψ) y descarga (ϕ), que relacionan para diferentes valores de velocidad específica, la altura útil (H ; mca) y el caudal circulante (Q ; m³/s) en función del diámetro del rodete del elemento impulsor (D ; m) y la velocidad de rotación de este (N ; rps).

Por consiguiente, empleando el valor de la velocidad específica de la bomba para cada escenario, se selecciona la curva característica experimental con un comportamiento semejante al caso estudiado. Para diferentes puntos de la curva elegida, se obtienen los valores de los coeficientes adimensionales que permiten determinar los valores reales de

caudal turbinado y altura recuperada caracterizando la bomba seleccionada mediante la obtención de la curva característica Q-H cuando trabaja como turbina.

De la misma forma, se determina la curva característica Q- η relacionando el caudal circulante con el rendimiento de la PAT. En este caso, se emplea una segunda gráfica discretizada también en función de las velocidades específicas de la bomba, que determina para diferentes valores de coeficientes adimensionales, la curva del rendimiento de cada PAT.

2.4- Análisis Energético de la zona regable

Llegados a este punto, se emplean las curvas características obtenidas para los cuatro escenarios, con el objetivo de simular la red de riego y cuantificar la energía recuperable. En lo que respecta a las curvas características obtenidas, se ha estimado una recuperación real de 15 mca, para no sobredimensionar la instalación con una bomba de mayor calibre.

El último apartado del presente proyecto tiene por objetivo modelizar la red de riego para cada escenario contemplado, empleando el programa informático Epanet 2.0. Esto permite estudiar la presión resultante en los nudos de consumo (hidrantes multi-usuario), la cuál varía en función del caudal circulante y la pérdida de carga que genera la PAT (presión recuperada).

Así pues, se exportan los datos de cada escenario al programa Epanet 2.0, simulando la PAT como una válvula de rotura de carga. El conexionado de la máquina se realiza en serie, pero Epanet 2.0 no contempla añadir una turbina, por lo que a la válvula se le asocia la curva resistente Q-H obtenida en cada escenario.

Así, se puede ir variando en cada escenario la pérdida de carga generada por la PAT y evaluar las presiones en los nudos de consumo, hasta alcanzar el valor máximo de pérdida de carga permisible o altura recuperable. Por consiguiente, quedan determinados los nudos más desfavorables para cada escenario, dependiendo de la pérdida de carga atribuida a la PAT, hasta alcanzar un valor lo más cercano a la presión funcionamiento garantizada en los hidrantes de 25 mca. Para finalizar, una vez determinado el comportamiento real de la PAT, se modeliza la instalación según la jornada efectiva de riego que tenga cada escenario.

Tras la modelización de la red de riego en función de la pérdida de carga obtenida, se recogen los valores de pérdida unitaria o altura recuperable por la válvula de propósito general que simula la PAT, permitiendo determinar la potencia eléctrica generada y la energía recuperable de la instalación.

Conocidos los valores de altura recuperable y caudal circulante, diferenciando para cada escenario en función de la sectorización, se obtiene la potencia teórica útil generada por la PAT durante la JER. Esta potencia se ve modificada según el rendimiento del generador al que se conecta la máquina para la transmisión de la energía generada y el rendimiento de la propia máquina. De esta forma, se obtiene finalmente para cada escenario el valor de potencia eléctrica, que dependerá del rendimiento global del grupo turbina-generador.

Para concluir, el último paso recae en la obtención de la energía aprovechada o extraída por la PAT en cada condición de trabajo para un periodo de tiempo. Con la intención de aportar un valor comparable y manejable, se determina la energía generada en un año, en kWh. Por tanto, se emplea el mayor de los tiempos de riego, correspondiendo al tiempo más desfavorable, asociados a cada cultivo.

3- Resultados y conclusiones.

Previamente se ha realizado una explicación de la metodología empleada en la obtención de los parámetros necesarios para el análisis energético de la red de riego. Debido a la cantidad de parámetros empleados en el estudio y análisis técnico, se exponen varias tablas resumen que recogen los parámetros determinados a lo largo del proyecto, para cuantificar la energía real aprovechable.

Finalmente, se procede a seleccionar uno de los cuatro escenarios contemplados en el estudio de la recuperación energética. En lo que respecta al criterio seguido para la elección del escenario de estudio, se han comparado parámetros que influyen en la energía total

recuperada en un año, así como los rendimientos de la PAT en función de los caudales circulantes.

De esta forma, comparando los cuatro escenarios, se puede concluir que el Escenario 1 de dimensionado es el óptimo para la inclusión de la PAT y la recuperación energética. En este caso, la jornada efectiva de riego se ve reducida a 8 horas y los caudales circulantes son mayores. Para la bomba seleccionada, los rendimientos de trabajo para el caudal de cada sector son elevados, rondando el 70%. Además, es el escenario que ofrece una mayor recuperación energética, incrementando la sostenibilidad de la instalación.

Tabla 1: Necesidades Totales reales de cada cultivo en el mes de máximos requerimientos

Necesidades Totales de Riego			
Cultivo	Mes	Marco Plantación (m)	NTr (l/día y planta)
Naranja	Julio	6x3	58,91
Caqui		5x3	42,91
Aguacate		6x6	104,83

Tabla 2: Parámetros de riego que caracterizan el sistema de riego en parcela

Parámetros de Riego					
Cultivo	Q emisor (l/h)	Nº emisores planta	Separación entre emisores (m)	Q unitario (l/h m²)	Q planta (l/h)
Naranja	4	6	1	1,33	24
Caqui	3,5	6	1	1,4	21
Aguacate	3,5	12	1	1,17	42

Tabla 3: Tiempos de riego diario para cada cultivo en el mes de máximos requerimientos

Tiempo de Riego Diario					
Cultivo	Mes	NTr (l/día y planta)	Nº Riego semanales	Intervalo entre riegos	Tiempo de riego (h)
Naranja	Julio	58,91	7	1	2,45
Caqui		42,91	6	1,17	2,38
Aguacate		104,83	7	1	2,5

Tabla 4: Potencia aportada y Energía obtenida por la PAT para cada escenario

Energía total recuperable para cada escenario						
Escenario	Automatización Electroválvula	JER	Número Sectores NS	Horas Riego Año (h)	Promedio Potencias Eléctricas (W)	Energía Anual Recuperada (kWh)
1	Hidrante	8	3	915,9	3303,23	3025,42
2	Hidrante	16	5	1526,51	1738,67	2654,1
3	Parcela	8	3	915,9	2941,58	2694,19
4	Parcela	16	5	1526,51	869,31	1326,65

Llevada a cabo la selección del escenario óptimo para la inclusión de la PAT en función de las condiciones de trabajo, se procede a determinar el ahorro en la huella de carbono para el escenario 1.

La huella de carbono es un indicador ambiental que permite reflejar la totalidad de gases de efecto invernadero generados por una organización, un individuo o un proceso. Con el objetivo de categorizar las actuaciones y actividades de personas y empresas, se puede concluir con la sostenibilidad del caso objeto de estudio. La huella de carbono se mide en kg de CO₂ equivalente, lo que permite contemplar el abanico de gases de efecto invernadero.

Para llevar a cabo el cálculo del ahorro de emisiones, se emplea el factor de emisión más actualizado ofrecido por la DEFRA (Department for Environment, Food & Rural Affairs), el cual establece que la producción de 1 kWh genera una emisión de 0,28 kg.eq. de CO₂.

Con el objetivo de sostenibilizar la instalación y canalizar la energía generada (que por regla general se suele disipar mediante válvulas reductoras de presión) para su posterior empleo, se aplica el factor de emisión determinando los kilogramos equivalentes de CO₂ que se dejan de emitir a la atmósfera.

Para el caso del escenario 1, siendo elegido el escenario óptimo de funcionamiento se calcula en función de los kWh generados en un año, los kg. eq. de CO₂ evitados, siendo:

$$0.28 \text{ kg } CO_2 / 1 \text{ kWh} \times 3025.42 \text{ kWh} = 847.12 \text{ kg } CO_2 \text{ equivalentes anuales}$$

A continuación, se adjuntan las curvas características obtenidas de la PAT, para el caso del escenario 1, relacionando el caudal turbinado con la altura recuperable y con el rendimiento de la turbina tras la modelización con el programa EPANET 2.0.

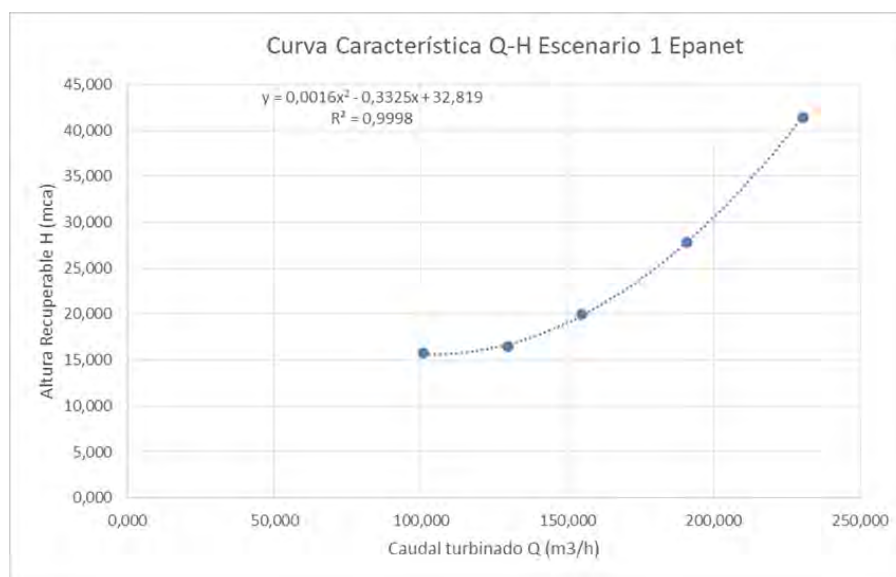


Figura 1: Curva Característica Q-H Escenario 1, modelización Epanet 2.0.

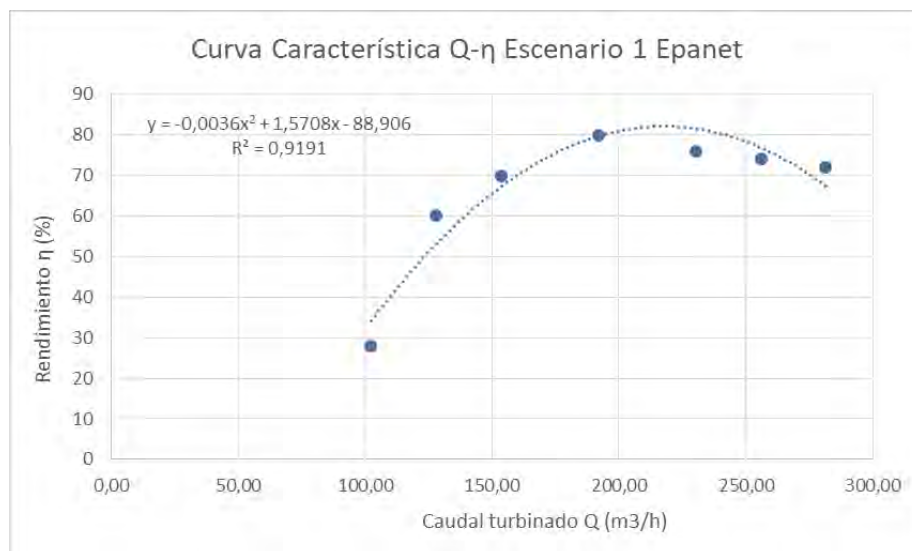


Figura 2: Curva Característica Q-η Escenario 1, modelización Epanet 2.0

Llegados a este punto, resulta importante resaltar el alcance de los objetivos y la satisfacción en los resultados obtenidos al aplicar la metodología analítica, lo cual permite concluir sobre la viabilidad de este estudio y de la propia tecnología.

En consecuencia, no en todos los casos resulta interesante el empleo de la PAT, ya que al tener un rendimiento bajo en algunas situaciones de trabajo la eficiencia se ve reducida. De esta forma, los factores que deben controlarse y estudiar para valorar la introducción de esta tecnología son: el caudal circulante, el tiempo de riego y el tipo de instalación donde se proyecta.

Como se ha comprobado analizando los resultados de los escenarios 2 y 4, pese a tener un tiempo de riego mayor, a caudales circulantes bajos y variables en el tiempo de riego, el rendimiento de la PAT se ve muy reducido, condicionando el aprovechamiento energético.

Por lo tanto, las condiciones óptimas de funcionamiento para la instalación de una PAT son: caudales altos y poco variables en el tiempo, además de un altura útil aprovechable, siendo la jornada efectiva de riego poco relevante cuando la potencia instalada es baja. Estas condiciones quedan reflejadas en el Escenario 1, siendo el seleccionado como el escenario óptimo entre los contemplados por la mayor recuperación energética.

A nivel medioambiental, este proyecto puede enfocarse de dos modos o vertientes. Por un lado, al realizar un estudio característico y específico para cada cultivo y sus condiciones de crecimiento, se determinan con exactitud los requerimientos hídricos anuales. Ello permite adecuar y reducir el volumen de agua de riego, lo que tiene una repercusión directa en el mantenimiento y preservación de los recursos hídricos. Este tema resulta de vital importancia debido a la progresiva disminución de la capa freática y el nivel de los acuíferos. Por otro lado, el hecho de reducir las pérdidas energéticas y aprovechar parte de éstas, se traduce en una disminución del consumo energético en los casos que se pueda emplear en la misma instalación (automatización, alumbrado, ...). Aunque no se requiera consumo energético, puede verse a red para abastecimiento de cabezales o pequeñas instalaciones cercanas.

Con la mira puesta en el futuro y en aplicaciones a mayor escala, las PAT se muestran como una solución en redes de riego que abastecen a gran superficie regable, donde en ciertas zonas sea posible su inclusión reduciendo los requerimientos energéticos de la instalación. Con el paso del tiempo, se desarrollarán más estudios que muestren la eficiencia y beneficio del empleo de esta tecnología, motivando a los fabricantes a estudiar el empleo de este tipo de bombas en modo turbina y aportar la información necesaria relativa a su comportamiento, permitiendo seleccionar a cada proyectista la que mejor se ajuste a las condiciones de trabajo.

4- Bibliografía

AGUSTÍ, M. (2003). *Manual de fruticultura*. Editorial Mundi-Prensa.

ARVIZA, J. (2020). *RGWin programa informático para el dimensionado de redes*.

BOMBAS IDEAL (2017). Catálogo comercial

CARRAVETTA, A.; DERA KHSHAN, S.; M. RAMOS, H. (2018). *Pumps as turbines: Fundamentals & Applications*. Editorial Springer.

EPANET 2.0.

MEIRELLES, G.; LUZIVOTTO, E.; M. BRENTAN, B. (2017). *Selection & location of pumps as turbines substituting pressure reducing valves*. Renewable Energy 109: 392-405

MIJAILOV, L.P. (1989). *Pequeña Hidroenergía* (en ruso). Moscú: Ed Energoatomizdat

ORTIZ, R.; JIMÉNEZ, A. (2008). *Máquinas hidráulicas reversibles aplicadas a micro centrales hidroeléctricas*. IEEE Latin America Transaction 6: 170-175

POLESE, J.-M. (2007). *Cultivo de cítricos*. Editorial Omega.

PUGLIESE, F.; DE PAOLA, F.; FONTANA, N.; GIUGNI, M.; MARINI, G. (2016). *Experimental characterization of two pumps as turbines for hydropower generation*. Renewable Energy 99: 180-187

RAGAZZINI, D. (1985). *El Kaki*. Editorial Mundi-Prensa.

ROMERO-MARRERO, L.; PÉREZ-SÁNCHEZ, M.; LÓPEZ-JIMÉNEZ, P.A. (2018). *Estimación de las curvas características de operación de sistemas de impulsión operando como turbinas a partir de su curva motriz trabajando como bomba*. Ingeniería del agua 22: 15-26

TÉLIZ, D; MORA, A. (2017). *El aguacate y su manejo integrado*. Editorial Biblioteca básica de agricultura

TRICARICO, C.; GARGANO, R.; KAPELAN, Z.; SANTOPIETRO, S.; GRANATA, F.; DE MARINIS, G. (2017). *Optimal energy recovery by means of pump as turbines (PATs) for improved WDS management*. Water Science & Technology: water supply

WILLIAMS, A. A. (1994). *The turbine performance of centrifugal pumps: a comparison of prediction methods*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A 208: 59-66

B-18-2020

EL PROBLEMA DE LOS RESIDUOS FLOTANTES EN LA VEGA BAJA DEL SEGURA. UN ANÁLISIS DE LOS ACTORES DEL TERRITORIO

*Brugarolas, M.(1)(P), Martínez-Carrasco, L.(2), Rocamora, C.(3), Puerto, H.(4),
Abadía, R.(5), Cordero, J.(6)*

1 Catedrática de Escuela Universitaria, Universidad Miguel Hernández, Dpto. de Economía Agroambiental, Ingeniería Cartográfica y Expresión Gráfica en la Ingeniería, mbrugaro@umh.es

2 Profesora Titular de Universidad, Universidad Miguel Hernández, Dpto. de Economía Agroambiental, Ingeniería Cartográfica y Expresión Gráfica en la Ingeniería, lmartínez@umh.es

3 Profesora Titular de Universidad, Universidad Miguel Hernández, Dpto. de Ingeniería, rocamora@umh.es

4 Profesora Titular de Universidad, Universidad Miguel Hernández, Dpto. de Ingeniería, hpuerto@umh.es

5 Profesor Titular de Universidad, Universidad Miguel Hernández, Dpto. de Ingeniería, abadía@umh.es

6 Profesor de Escuela Universitaria, Universidad Miguel Hernández, Dpto. de Economía Agroambiental, Ingeniería Cartográfica y Expresión Gráfica en la Ingeniería, jcordero@umh.es

Resumen

En el río Segura y en sus infraestructuras de riego se acumulan residuos sólidos de diversa índole, lo que afecta tanto a la calidad del agua como al propio sistema de transporte de agua por el río ocasionando diversos problemas de difícil solución. Este trabajo tiene como objetivo conocer la visión de los actores del territorio sobre los residuos flotantes en el río Segura y en sus infraestructuras asociadas, concretamente en lo que se refiere a su tipología, sus fuentes y a los problemas que generan. Para ello se realizaron 3 sesiones de grupos focales en las que intervinieron un total de 34 participantes pertenecientes a distintos colectivos, lo que permitía el análisis global desde distintos puntos de vista. Para los participantes, los residuos tienen un origen urbano fundamentalmente, aunque la actividad agrícola y la falta de limpieza de los cauces por parte de la CHS son destacables. En cuanto a los problemas que plantean los residuos, estos son de diversos tipos: económicos, medioambientales y paisajísticos, de salud pública, sociales e incluso legales. El trabajo ha permitido realizar un diagnóstico inicial y es un punto de partida para seguir trabajando en la búsqueda de soluciones.

Abstract

Solid waste with different origins accumulated in the Segura River and in its irrigation system has important consequences in the water quality and in its transport system. This fact is provoking several problems with a difficult solution. The aim of this work is to know the point of view of the territory actors about this issue, especially its sources and the problems generated. Because of that fact, 3 focus group sessions were carried out with 34 stakeholders from different collectives, therefore a global analysis was obtained. The origin of solid waste was come from urban activities, although agriculture and the lack of cleaning By CHS are highlighted too. Different kinds of problems are originated by solid waste are: economic,



environmental and landscape, public health social, and legal. The research has allowed to perform an initial diagnosis and it is a good starting point to continue working in the search of solutions.

1- Introducción

El recorrido del río Segura finaliza en la comarca de la Vega Baja del Segura, llanura aluvial de unas 23.000 hectáreas, en la que gran parte de su actividad económica gira en torno a su huerta. En dicha huerta se ha desarrollado desde la época romana un sistema de regadío tradicional que comprende un complejo sistema de canales de riego y drenaje que toman el agua directamente desde el río Segura, mediante pequeñas presas o azudes situadas en el lecho del río. Estos azudes, derivan el agua a los canales de riego llamados acequias, que son las encargadas de distribuir el agua a los campos de cultivo. El exceso de agua de riego es recogido en canales de drenaje, llamados azarbes, que a su vez se usan como canales de riego cuando alcanzan la cota suficiente sobre los campos de cultivo (Trapote et al., 2015).

En los últimos años, la infraestructura hidráulica que forma el río Segura a su paso por la Vega Baja, acumula en determinados puntos una gran cantidad de residuos sólidos flotantes, afectando tanto a la calidad del agua como al propio sistema de transporte de agua por el río ocasionando diversos problemas de difícil solución. Los vertidos son de variada procedencia, predominando los residuos vegetales de la ribera del propio río, como las cañas, así como residuos procedentes de la actividad doméstica, agrícola e industrial, entre los que predominan los residuos plásticos. La acumulación de los mismos genera numerosos problemas de tipo económico, paisajístico, medioambiental, de salud pública, social y legal, por lo que se hace necesario analizar estrategias para su reducción o eliminación. Previamente, una acción clave en cualquier estrategia para reducir los residuos es identificarlos y conocer cuáles son sus fuentes (Sandri & Thompson, 2014).

La economía de la comarca gira en torno a la actividad agroalimentaria y al turismo, actividades en las que el estado del río es determinante. Los actores del territorio directamente relacionados con la gestión del río, como ocurre en otros territorios (Pinto y Maheshwari, 2016; Šebo et al., 2019), están muy sensibilizados, sobre todo en los últimos tiempos en los que las crecidas del río y las inundaciones, consecuencia directa del cambio climático, son cada vez más frecuentes. Es por esto que conocer su visión es el primer paso para proceder a una estrategia general de gestión.

2.- Objetivos

Este trabajo tiene como objetivo conocer la visión de los actores del territorio sobre los residuos flotantes en el río Segura y en sus infraestructuras asociadas, concretamente en lo que se refiere a su tipología, sus fuentes y a los problemas que generan.

3.- Materiales y métodos

Se realizaron 3 sesiones de grupos focales en las que intervinieron un total de 34 participantes pertenecientes a distintos colectivos, lo que permitía el análisis global desde distintos puntos de vista. Para la selección de los participantes, se hizo un llamamiento desde la Dirección General del Agua de la Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica. Como participantes, estuvieron representados los siguientes colectivos: Ayuntamientos de la comarca, Confederación Hidrográfica del Segura (CHS), Comunidades de Regantes, asociaciones de agricultores, empresarios, asociaciones ecologistas y voluntarios con vinculación directa con el río. La distribución de los participantes se muestra en la tabla 1.

Tabla 8. Distribución de los participantes en las sesiones focales por colectivo

Colectivo	% de asistentes
Comunidades de Regantes	50,0
Empresarios	14,7

Representantes ayuntamiento	8,8
Asociación Ecologistas	8,8
Dirección General del Agua	5,9
Técnicos responsables de municipios	5,9
Asociación Agricultores	2,9
CHS	2,9

Además, previo al inicio de la sesión, en cada grupo los asistentes cumplieron un cuestionario en el que se planteaban diversas cuestiones sobre los tipos de residuos flotantes que se pueden encontrar, sus actividades de procedencia y los problemas que generan los flotantes en el río.

4.- Resultados y discusión

No se han realizado hasta la fecha demasiados estudios sobre los residuos flotantes en los ríos. Algunos de los más destacados se han realizado en el Danubio (Lechner et al., 2014), en el Támesis (Morritt et al., 2014), en el río Tamar (Sadri and Thompson, 2014), en el río Los Ángeles (Moore et al., 2011) o en el Sena (Dris et al., 2015; Gasperi et al., 2014).

En el caso del Segura a su paso por la Vega Baja, con la información obtenida en las sesiones y de las encuestas se han clasificado los vertidos en diferentes categorías y se han identificado responsabilidades sobre los mismos:

- Cañas y carrizos: la CHS es la responsable de su limpieza y no se está realizando o se realiza de forma insuficiente e inadecuada. Se incide en la necesidad de retirar las cañas una vez cortadas y no dejarlas sobre el talud, ya que finalmente llegan al cauce.
- Basura urbana procedente de la actividad habitual de los habitantes de las poblaciones cercanas y de los mercados semanales: bolsas de plástico, botellas de productos de limpieza personal y del hogar, toallitas que se tiran al inodoro...
- Basura procedente de pequeñas industrias, entre las que destacan los talleres, que no tienen un sistema adecuado de eliminación de residuos sólidos o que no utilizan el existente por disminuir sus costes. En algunos casos, pueden ser actividades no dadas de alta. En este caso, los productos son: neumáticos, componentes industriales, botellas, etc.
- Animales: algunas empresas no llevan al crematorio a los animales muertos y prefieren tirarlos al río.
- Botellas de agua: procedentes de actividades de ocio y deportivas, y también de los trabajadores de la actividad agrícola, aunque en menor medida.
- Restos de bandejas de semilleros, botes de productos químicos: procedentes de la actividad agrícola.
- Bolsas de basura completas, procedentes de viviendas diseminadas a lo largo del cauce.
- Otros residuos vertidos a los imbornales, que algunos usuarios utilizan de papeleras.

La composición de residuos, entre los que predominan la materia orgánica y los plásticos, está en línea con lo encontrado en otros trabajos (Suaria et al, 2015; Rochman et al., 2016; Vlachogianni et al., 2018).

En el cuestionario también se obtuvo información sobre la asignación de responsabilidad en la generación de diferentes residuos flotantes que acaban en el cauce del río: un 56,9% de los participantes señala que los culpables son los ciudadanos, seguido de un porcentaje importante de encuestados que señalan que los principales responsables son los agricultores (21,8%), la confederación hidrográfica es señalada por el 6,9% de los respondientes, asignándosele la responsabilidad de limpieza del material vegetal que circunda el cauce y que irremediamente cae en él si no se elimina. Otros colectivos también fueron señalados aunque con una frecuencia mucho menor: excursionistas, ganaderos, industrias o empresas

de mantenimiento. En cuanto a las principales actividades que provocan mayor generación de residuos, un 46,4% señala la actividad urbana/doméstica, un 29,1% menciona la actividad agrícola. En tercer lugar, se menciona el ocio con un 8,7% de encuestados. En la bibliografía, se encuentran trabajos que relacionan la contaminación por plástico con la abundancia de población (Kwon et al., 2014; Munari, 2016). Baldwin et al. (2016) encuentran una correlación positiva entre núcleos urbanos y negativa con importancia de la actividad agrícola. Otros autores, sí correlacionan las actividades del territorio con la abundancia de residuos (Wan et al., 2018).

Finalmente, se preguntó a los participantes por los problemas que generan los flotantes. Dichos problemas se han agrupado en seis categorías:

1. Económicos: directamente relacionados con la actividad agrícola, como pérdida de valor de los productos agroalimentarios, porque la calidad de las aguas es peor o la dificultad para certificarse en agricultura ecológica; pérdida de valor turístico por la degradación del paisaje y coste de las labores de limpieza y sanciones que tienen que soportar las comunidades de regantes. Los problemas económicos relacionados con las actividades económicas al territorio han sido también analizados en otros trabajos (Jang et al., 2014; Krelling et al., 2017; Williams et al., 2016; Quiang et al., 2020).
2. Medioambientales y paisajísticos: riesgo alto de inundaciones, contaminación de agua del río y del mar, contaminación de parcelas, contaminación de las playas, efecto en la fauna y en la flora, alteración del paisaje o impacto visual que afecta al valor turístico. Otros trabajos destacan la importancia de estos problemas (Allen et al., 2012; Browne et al., 2008; Fossi et al., 2018; Gall y Thompson, 2015; Murray y Cowie, 2011; Rochman et al., 2013; Thompson et al., 2009; Morrit et al., 2014).
3. Salud pública: residuos contaminantes en alimentos y problemas derivados del agua estancada, como los analizados por otros autores (Foekema et al., 2013; Lusher et al., 2013).
4. Sociales: conflictos entre regantes y Confederación, entre ayuntamientos y vecinos y entre usuarios (los de aguas abajo culpan a los de aguas arriba).
5. Legales: trabas burocráticas de la CHS para la retirada de residuos, competencias entre actores no adecuadamente delimitadas.

Sobre los dos últimos tipos de problemas señalados no se han encontrado trabajos que expongan situaciones parecidas.

5.- Conclusiones y recomendaciones

Analizar, desde un punto de vista de los actores del territorio, las problemáticas a las que se enfrentan, supone conocer de primera mano su opinión, en algunos casos subjetiva. Discutir entre diversos actores procedentes de diversos colectivos, a veces enfrentados, enriquece la visión general del problema.

En el trabajo se ha recogido la visión de los principales implicados en la gestión del río sobre los causantes de los vertidos y las problemáticas que plantea. El análisis de sus opiniones ha permitido realizar un diagnóstico inicial y es un punto de partida para seguir trabajando en la búsqueda de soluciones.

Nuestra propuesta es que en esta búsqueda de soluciones participen, además de los colectivos implicados en la gestión del río, los ciudadanos en general y que se tengan en cuenta métodos participativos como los utilizados en la metodología de este trabajo en lo que a soluciones se refiere, ya que se adaptarán mejor al territorio y a sus integrantes.

8.- Agradecimientos

Este póster muestra los resultados parciales de la investigación realizada con la financiación de la Dirección General del Agua de la Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica.

9- Bibliografía

- Allen, R., Jarvis, D., Sayer, S., & Mills, C. (2012). Entanglement of grey seals *Halichoerus grypus* at a haul out site in Cornwall, UK. *Marine pollution bulletin*, 64(12), 2815-2819.
- Baldwin, A. K., Corsi, S. R., & Mason, S. A. (2016). Plastic debris in 29 Great Lakes tributaries: relations to watershed attributes and hydrology. *Environmental Science & Technology*, 50(19), 10377-10385.
- Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M., & Thompson, R. C. (2008). Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental science & technology*, 42(13), 5026-5031.
- Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., & Tassin, B. (2015). Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. *Environmental Chemistry*, 12(5), 592-599.
- Kwon, B. G., Saido, K., Koizumi, K., Sato, H., Ogawa, N., Chung, S. Y., ... & Kogure, K. (2014). Regional distribution of styrene analogues generated from polystyrene degradation along the coastlines of the North-East Pacific Ocean and Hawaii. *Environmental pollution*, 188, 45-49.
- Foekema, E. M., De Gruijter, C., Mergia, M. T., van Franeker, J. A., Murk, A. J., & Koelmans, A. A. (2013). Plastic in North sea fish. *Environmental science & technology*, 47(15), 8818-8824.
- Fossi, M. C., Panti, C., Bainsi, M., & Lavers, J. L. (2018). A review of plastic-associated pressures: cetaceans of the Mediterranean Sea and eastern Australian shearwaters as case studies. *Frontiers in Marine Science*, 5, 173.
- Gall, S. C., & Thompson, R. C. (2015). The impact of debris on marine life. *Marine pollution bulletin*, 92(1-2), 170-179.
- Gasperi, J., Dris, R., Bonin, T., Rocher, V., & Tassin, B. (2014). Assessment of floating plastic debris in surface water along the Seine River. *Environmental pollution*, 195, 163-166.
- Jang, Y. C., Hong, S., Lee, J., Lee, M. J., & Shim, W. J. (2014). Estimation of lost tourism revenue in Geoje Island from the 2011 marine debris pollution event in South Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 81(1), 49-54.
- Krelling, A. P., Williams, A. T., & Turra, A. (2017). Differences in perception and reaction of tourist groups to beach marine debris that can influence a loss of tourism revenue in coastal areas. *Marine Policy*, 85, 87-99.
- Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., ... & Schludermann, E. (2014). The Danube so colourful: a potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environmental pollution*, 188, 177-181.
- Lusher, A. L., Mchugh, M., & Thompson, R. C. (2013). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine pollution bulletin*, 67(1-2), 94-99.
- Moore, C. J., Lattin, G. L., & Zellers, A. F. (2011). Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 11(1), 65-73.
- Morritt, D., Stefanoudis, P. V., Pearce, D., Crimmen, O. A., & Clark, P. F. (2014). Plastic in the Thames: a river runs through it. *Marine Pollution Bulletin*, 78(1-2), 196-200.
- Munari, C., Corbau, C., Simeoni, U., & Mistri, M. (2016). Marine litter on Mediterranean shores: analysis of composition, spatial distribution and sources in north-western Adriatic beaches. *Waste management*, 49, 483-490.
- Murray, F., & Cowie, P. R. (2011). Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758). *Marine pollution bulletin*, 62(6), 1207-1217.
- Pinto, U., & Maheshwari, B. L. (2016). Community perspectives on managing health of peri-urban river system: evidence from the Hawkesbury-Nepean river catchment, Australia. *Journal of Environmental Planning and Management*, 59(7), 1257-1276.
- Qiang, M., Shen, M., & Xie, H. (2020). Loss of tourism revenue induced by coastal environmental pollution: a length-of-stay perspective. *Journal of Sustainable Tourism*, 28(4), 550-567.

- Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T., & Teh, S. J. (2013). Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific reports*, 3, 3263.
- Šebo, J., Gróf, M., & Šebová, M. (2019). A contingent valuation study of a polluted urban lake in Košice, Slovakia: The case of the positive distance effect. *Journal of environmental management*, 243, 331-339.
- Suaria, G., Melinte-Dobrinescu, M. C., Ion, G., & Aliani, S. (2015). First observations on the abundance and composition of floating debris in the North-western Black Sea. *Marine environmental research*, 107, 45-49.
- Thompson, R. C., Moore, C. J., Vom Saal, F. S., & Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2153-2166.
- Trapote, A., Roca, J.F., Melgarejo, J. (2015): Azudes y acueductos del sistema de riego tradicional de la Vega Baja del Segura (Alicante, España). *Investigaciones Geográficas* 63, 143-160.
- Sadri, S. S., & Thompson, R. C. (2014). On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England. *Marine pollution bulletin*, 81(1), 55-60.
- Vlachogianni, T., Fortibuoni, T., Ronchi, F., Zeri, C., Mazziotti, C., Tutman, P., ... & Mandić, M. (2018). Marine litter on the beaches of the Adriatic and Ionian Seas: An assessment of their abundance, composition and sources. *Marine pollution bulletin*, 131, 745-756.
- Wan, J., Wang, Y., Cheng, M., Engel, B. A., Zhang, W., & Peng, H. (2018). Assessment of debris inputs from land into the river in the Three Gorges Reservoir Area, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(6), 5539-5549.
- Williams, A. T., Rangel-Buitrago, N. G., Anfuso, G., Cervantes, O., & Botero, C. M. (2016). Litter impacts on scenery and tourism on the Colombian north Caribbean coast. *Tourism Management*, 55, 209-224.

GRUPO TEMAS C:

Balsas de Riego

Infraestructura especialmente relevante y representativa del regadío del sureste español. En esta sesión se incluirán trabajos referidos a: El papel de las Balsas de riego como elemento de regulación, Importancia de la Seguridad en su explotación, Propuestas de clasificación y planes de emergencia, Tecnologías específicas de balsas (coberturas de sombreado, geomembranas, etc.) y otras cuestiones de interés relacionadas con estas infraestructuras.

C-01-2020

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE COBERTURAS FLOTANTES MODULARES EN BALSAS DE RIEGO

Martínez-Alvarez, V.⁽¹⁾ (P), Martín-Górriz, B.⁽¹⁾, Maestre-Valero J.F. ⁽¹⁾, Gimeno Martínez, J.M.⁽²⁾, Navarro Fernández F.J.⁽²⁾

¹Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena, España. E-mail: victoriano.martinez@upct.es

²Arana Water Management S.L. C/Alamo, 23. 1ºD. 30800 Lorca (Murcia). E-mail: arana-wm@arana-wm.com

Resumen

Para mejorar la eficiencia global de los sistemas de riego resulta necesario mitigar las pérdidas en balsas mediante técnicas reductoras de la evaporación. Este trabajo contiene los resultados obtenidos tras el ensayo experimental como técnica mitigadora de la evaporación de dos prototipos de cobertura flotante modular, denominados EVAPO-CONTROL-2 y EVAPO-CONTROL-G4. Los prototipos fueron evaluados durante sendos años en balsas agrícolas del sureste español con el fin de (1) determinar experimentalmente su eficiencia como tecnología para la reducción de la evaporación, y (2) verificar experimentalmente su efecto sobre la calidad de agua almacenada para su aplicación en riego agrícola.

La cobertura EVAPO-CONTROL-G4 ha conseguido reducir la evaporación en un 77,52% durante el ensayo experimental de un año en Puerto Lumbreras, mejorando ligeramente los resultados del prototipo anterior EVAPO-CONTROL-2, que redujo la evaporación en un 76,16% al ser evaluado durante un año en una balsa experimental localizada en el Campo de Cartagena. Por tanto, este ensayo confirma que se trata de una tecnología eficiente para la reducción de la evaporación en balsas de riego, y que el nuevo prototipo mejora el comportamiento de la versión anterior. El factor de reducción de la evaporación no ha sido constante a lo largo del año, sino que ha variado desde el 70,80% en el mes de enero hasta el 81,56% en el mes de agosto.

Respecto a los efectos de las coberturas EVAPO-CONTROL-2 y EVAPO-CONTROL-G4 sobre la calidad del agua, la conductividad eléctrica se ha mantenido en valores muy reducidos y condicionados a la entrada de agua directa de lluvia. La concentración de clorofila-a (proxy de presencia de algas en la balsa) y el valor de turbidez también ha sido prácticamente nulos tras la instalación de la cobertura flotante, evidenciando la eficiencia de la cobertura como técnica de control de la concentración de microalgas en la balsa de riego.

1- Introducción

En las regiones áridas y semiáridas, donde los recursos hídricos suelen ser deficitarios e irregulares, las balsas de riego se han convertido en un elemento imprescindible para la aplicación de sistemas de riego de alta frecuencia. Con la modernización de regadíos, se ha producido un desarrollo generalizado de estas infraestructuras de almacenamiento y regulación de agua. La proliferación de las balsas ha repercutido en la eficiencia global de los sistemas de distribución de riego como

consecuencia de las importantes pérdidas de agua por evaporación que se producen en las mismas. En este sentido, sólo en la cuenca del Segura Maestre Valero et al. (2013) estimaron unas pérdidas de 66,94 hm³/año en balsas de riego, frente a 23,67 hm³/año en grandes embalses.

Para mejorar la eficiencia global de los sistemas de riego resulta necesario mitigar las pérdidas en balsas mediante técnicas reductoras de la evaporación. Son numerosas las técnicas que se han experimentado con el fin de reducir la evaporación en masas de agua, entre las que se encuentran la aplicación de sustancias químicas poco volátiles (*monolayers*), la implantación de coberturas flotantes o suspendidas, la desestratificación del cuerpo de agua, los cortavientos vegetales, etc. (Martínez et al., 2006; Craig et al., 2005; Brown, 1988). Gran parte de las mismas resultan poco atractivas para su empleo en balsas de riego como consecuencia de su baja eficiencia, de su elevado coste, de la incompatibilidad con las características específicas de las balsas y del uso posterior del agua, de la dificultad de instalación, etc.

En los últimos años **las coberturas flotantes modulares de bajo coste** se han convertido en una alternativa atractiva para el sector del regadío, ya que sus costes son competitivos en comparación con los de otras técnicas y no requieren obras o actividades específicas para su instalación, ni tampoco tareas de mantenimiento a lo largo de su vida útil.

2- Objetivos

Este trabajo contiene los resultados obtenidos tras el ensayo experimental de dos prototipos de cobertura flotante modular, denominados EVAPO-CONTROL-2 y EVAPO-CONTROL-G4. Los prototipos fueron evaluados durante sendos años en balsas agrícolas del sureste español con el fin de (1) determinar experimentalmente su eficiencia como tecnología para la reducción de la evaporación, y (2) verificar experimentalmente su efecto sobre la calidad de agua almacenada para su aplicación en riego agrícola.

3- Materiales y Métodos

La caracterización técnica de las coberturas se ha basado en la monitorización y análisis de datos de evaporación y calidad de agua durante un periodo de 12 meses. La cobertura EVAPO-CONTROL-2 se evaluó del 19 de febrero de 2018 al 18 de febrero de 2019) en una balsa de riego ubicada en Cartagena, de 1500 m² de superficie y capacidad máxima de 6700 m³. La cobertura EVAPO-CONTROL-G4 se evaluó del 11 de enero de 2019 al 10 de enero de 2020 en una balsa de riego ubicada en Puerto Lumbreras, de 600 m² de superficie aproximada y capacidad máxima de 2000 m³.

Para evaluar la eficiencia de la coberturas como técnica reductora de la evaporación se han comparado las medidas de evaporación en la balsa cubierta (E_c), registradas mediante un transductor de presión de alta precisión sumergido, con los correspondientes a la balsa descubierta (E), estimados con un modelo de evaporación en masas de agua desarrollado por el equipo investigador (Martínez Alvarez et al., 2007). Para la aplicación del modelo (hipotética balsa descubierta) se han utilizado registros diarios de las siguientes variables meteorológicas en las inmediaciones de la balsa: radiación solar global, precipitación, velocidad del viento, temperatura y humedad relativa del aire.

Para evaluar el efecto de las coberturas sobre la calidad de agua almacenada se han registrado con una frecuencia mensual los siguientes parámetros físico-químicos a lo largo

del perfil del agua con una sonda multiparamétrica OTT DS5: temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, turbidez y clorofila-a (usado como proxy de la cantidad de algas).

A continuación se detallan distintos aspectos metodológicos sobre (1) el sistema de adquisición de datos y los sensores instalados, (2) la estimación de la evaporación en la balsa descubierta mediante la modelización de su balance de energía, (3) los datos meteorológicos empleados en la modelización de la balsa descubierta, y (4) la adquisición de datos de calidad de agua.

3.1- Adquisición de datos y sensores instalados

La Fig. 1 presenta el diseño experimental:

- La tasa de evaporación en el embalse cubierto (E_c) se determinó a partir de medidas de nivel de agua registradas con un sensor de presión (Druck, PDCR1830, precisión $\pm 0,06\%$ en una escala de 75 mbar). El sensor se situó en el interior del embalse unido a un lastre para evitar su movimiento.
- La evolución del perfil térmico del embalse se registró mediante 6 sensores de temperatura (T-107, Campbell SCI) sumergidos en el cuerpo de agua, que se anclaron a una cadena suspendida desde el lateral de la balsa.
- La velocidad del viento en la balsa se registró con un anemómetro de cazoletas (A100R, Campbell SCI) situado a 2 m de altura junto a la balsa, con el fin de tener registros de la velocidad del viento más representativos de las condiciones locales que los registrados en las estaciones del SIAM CA-12 (Cartagena-La Palma) para el prototipo EVAPO-CONTROL-2 y LO-61 (Puerto Lumbreras-El Esparragal) para el prototipo EVAPO-CONTROL-G4.
- Sensor de condensación para detectar la presencia de condensación atmosférica sobre la cobertura (S237, Campbell SCI).
- Datalogger Campbell CR1000 para el almacenamiento de los datos registrados. Los datos mencionados se registraron automáticamente cada 10 s, además de obtener los valores medios horarios y diarios.

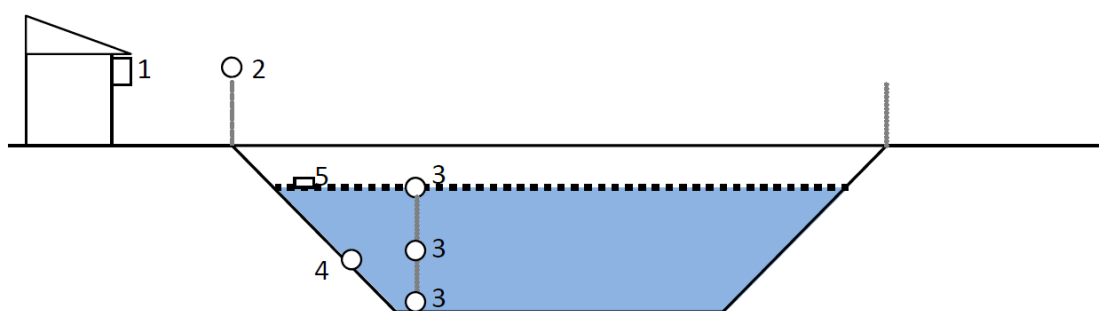


Figura 1. Esquema del embalse experimental con (1) datalogger, (2) anemómetro, (3) sensores de temperatura del agua, (4) sensor de presión y (5) sensores de presencia de condensación.

3.2- Modelización de la evaporación en la balsa descubierta

El balance de energía de un cuerpo de agua se determina como las ganancias menos las pérdidas de calor en un intervalo de tiempo determinado. Basado en las principales leyes físicas de la conservación de la energía, el balance de energía puede expresarse del siguiente modo:

$$R_n + \lambda E + H_s + Q_w = 0$$

donde R_n es la radiación neta en la superficie, λE es el flujo evaporativo, H_s es el flujo de calor sensible intercambiado con la atmósfera y Q_w es la variación de calor almacenado durante el intervalo de tiempo considerado. Todos los flujos están expresados en Wm^{-2} , E es la tasa de evaporación ($kg\ m^{-2}\ s^{-1}$) y λ el calor latente de vaporización ($J\ kg^{-1}$). El criterio de signos es el siguiente: todos los flujos positivos indican aporte de calor a la superficie (por tanto energía disponible para el proceso de evaporación) y los negativos corresponden a las pérdidas de calor de la superficie. A continuación se detalla el procedimiento de cálculo de cada uno de los términos del balance para la balsa en estudio.

La radiación neta es la resultante el balance de radiación de onda corta y larga recibida y perdida por la superficie de agua:

$$R_n = R_s - \alpha R_s + R_a - R_w$$

donde R_s es la radiación solar incidente (onda corta), α el albedo (porcentaje de R_s reflejado por la superficie), R_a la radiación atmosférica (onda larga) y R_w el calor emitido por la superficie en función de su temperatura (onda larga). El valor medio anual de α para embalses en la latitud correspondiente al sur de España puede considerarse igual a 0,06. Los términos de onda larga del balance se han obtenido del siguiente modo: R_a se ha determinado con la metodología propuesta por la FAO (Allen et al., 1998), a partir de las variables meteorológicas T_a , HR y R_s registradas en la estación, mientras que R_w se ha calculado con la ecuación de Stefan-Boltzman, considerando que el valor de la emisividad del agua es 0,97.

La tasa de evaporación de la balsa descubierta (E , $mm\ día^{-1}$) se ha calculado por medio de la siguiente ecuación de transferencia de masa:

$$E = h_v (e_s - e_a)$$

donde e_s y e_a son la presión de vapor de saturación a la temperatura de la superficie del agua, T_w , y la presión de vapor actual a la temperatura del aire, T_a , respectivamente, y h_v es el coeficiente de transporte de vapor de agua. Generalmente se asume que h_v es proporcional a la velocidad del viento a 2 m de altura y dependiente del área de la superficie evaporante (S , m^2) a través de una función empírica $f(S)$. En la bibliografía pueden encontrarse diferentes expresiones de cálculo de $f(S)$, entre las cuales se ha seleccionado para este estudio la propuesta por Martínez et al. (2007), que a su vez combina las funciones empíricas propuestas por Molina et al. (2004), Brutsaert (1982) y Harbeck (1962), siendo válida para el rango de superficie: $1\ m^2 < S < 10^{10}\ m^2$.

El calor sensible intercambiado en la interfase aire-agua viene dado por:

$$H_s = h_c \rho C_p (T_a - T_w)$$

donde C_p es el calor específico del aire ($J\ kg^{-1}\ K^{-1}$), ρ es la densidad del aire ($kg\ m^{-3}$), T_a y T_w son la temperatura del aire y de la superficie de agua, respectivamente, y h_c es el coeficiente de transferencia por convección agua-superficie. El coeficiente h_c puede aproximarse al valor del coeficiente empírico de transporte de vapor de agua, h_c (Analogía de Reynolds), utilizado en el cálculo de la tasa de evaporación:

$$h_c = \lambda \gamma \text{ y } h_v$$

donde γ es la constante psicrométrica ($kPa\ K^{-1}$).

El calor almacenado o cedido por el cuerpo de agua viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q_w = C_w P \Delta T_w / \Delta t$$

donde C_w ($\text{J kg}^{-1} \text{ m}^{-3}$) es la capacidad calorífica volumétrica del agua, función de su temperatura, P (m) es el espesor o profundidad del cuerpo de agua, y $\Delta T_w / \Delta t$ es la variación de la temperatura del agua durante el intervalo tiempo considerado. P se determina a escala diaria en función del área y volumen de la balsa.

Todos los términos del balance de energía dependen de la temperatura de la superficie de la superficie. El algoritmo de cálculo empleado, consiste en la realización de iteraciones hasta encontrar la temperatura objetivo para la cual se cumple la condición de equilibrio. El modelo ha sido validado con datos experimentales para el cálculo de la evaporación en balsas de riego (Gallego et al., 2009).

4- Resultados

La cobertura EVAPO-CONTROL-2 ha conseguido reducir la evaporación en un 76,16% durante el ensayo experimental de un año, por lo que se confirma como una tecnología eficiente para la reducción de la evaporación en balsas de riego. El factor de reducción de la evaporación no ha sido constante a lo largo del año, sino que ha variado desde el 70,5% en el mes diciembre hasta el 79,4% en los meses de agosto y septiembre. Esta variación del factor de reducción de la evaporación mensual ha mostrado una clara correlación lineal ($R^2 = 0,89$) con la temperatura del aire media mensual. La Fig. 2 recoge la evolución de la tasa de evaporación en la balsa experimental medida durante el ensayo (E_c) y la tasa de evaporación modelizada para el embalse descubierto (E), habiéndose eliminado los 37 días en los que ha habido precipitaciones significativas o alguna incidencia en la adquisición de datos.

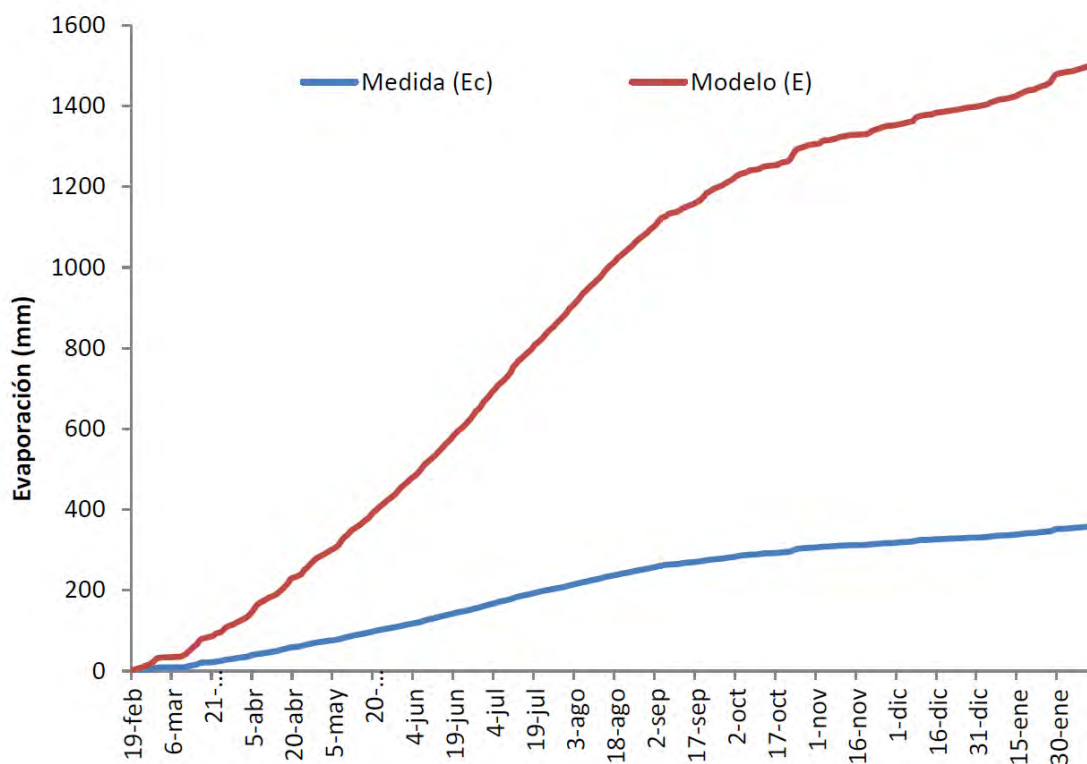


Figura 2. Evolución de la tasa de evaporación de la cobertura EVAPO-CONTROL-2 durante el ensayo.

La cobertura EVAPO-CONTROL-G4 redujo la evaporación en un 77,52% durante el ensayo, mejorando ligeramente los resultados del prototipo anterior EVAPO-CONTROL-2. El factor de reducción de la evaporación ha variado desde el 70,8% en el mes de enero hasta el 81,5% en el mes de agosto. Además, el nuevo prototipo mejora el comportamiento mecánico de la versión anterior, en el que el valor umbral de velocidad de viento en el que se producía el giro de los módulos se encontraba en torno a los 15 km/h. Con el prototipo EVAPO-CONTROL-G4 no se ha observado este fenómeno durante el ensayo, circunstancia que puede justificar su mejor comportamiento como técnica reductora de la evaporación. La Fig. 3 recoge la evolución de la tasa de evaporación en la balsa experimental medida durante el ensayo.

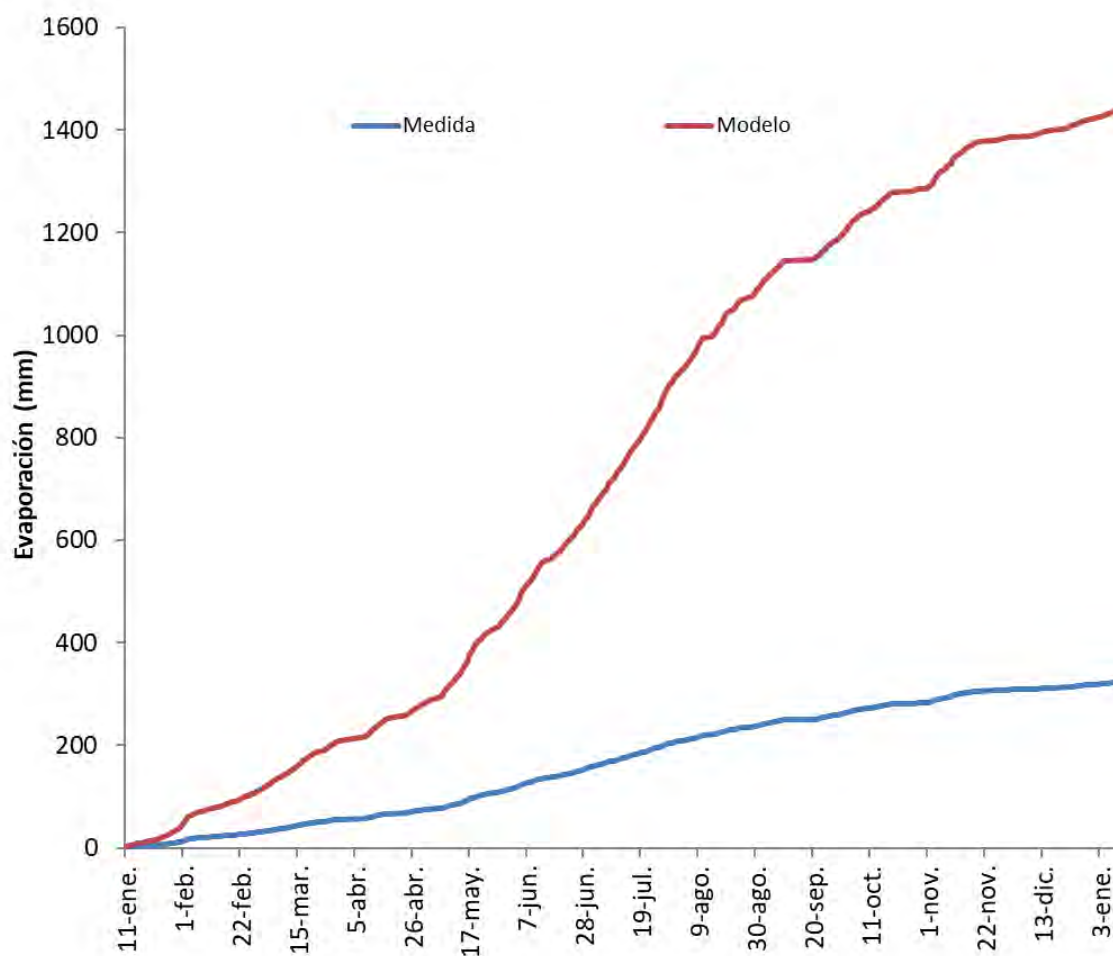


Figura 3. Evolución de la tasa de evaporación de la cobertura EVAPO-CONTROL-G4 durante el ensayo.

Respecto a los efectos de ambas coberturas sobre la calidad del agua, los resultados ponen de manifiesto que no se ha producido una estratificación térmica en ninguna de las balsas. Por lo tanto, un valor medio de cada parámetro para el perfil de profundidad representa de forma adecuada el comportamiento del agua frente a la instalación de la cobertura flotante modular.

La conductividad eléctrica se ha mantenido prácticamente constante a lo largo de los ensayos, ya que la cobertura permite recuperar la práctica totalidad de la precipitación, compensando las pérdidas por evaporación y su posible efecto en la salinidad. La concentración de clorofila-a y el valor de turbidez también ha sido prácticamente nulos.

durante el ensayo experimental, evidenciando la eficiencia de la cobertura como técnica de control de la concentración de microalgas en la balsa de riego. Las Figs. 4 y 5 muestran la evolución de los parámetros de calidad temperatura del agua (T_a), conductividad eléctrica (CE), clorofila - a ($Cl-a$), turbidez (T_r) y oxígeno disuelto (OD) como valor medio de los registrados a 6 profundidades del perfil de agua para las coberturas EVAPO-CONTROL-2 y EVAPO-CONTROL-G4 respectivamente.

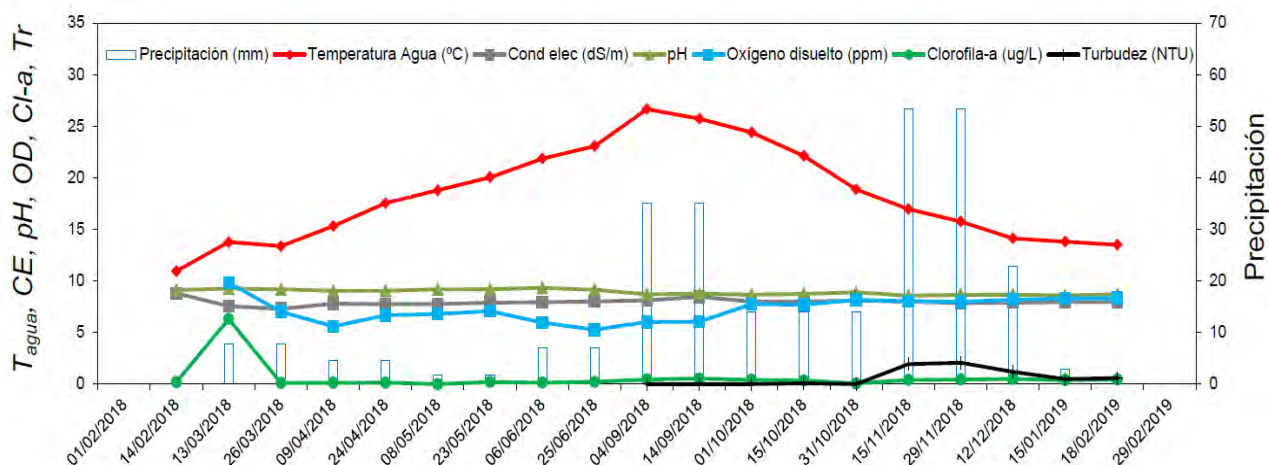


Figura 4. Evolución de los parámetros de calidad de agua analizados durante el ensayo experimental de la cobertura EVAPO-CONTROL-2.

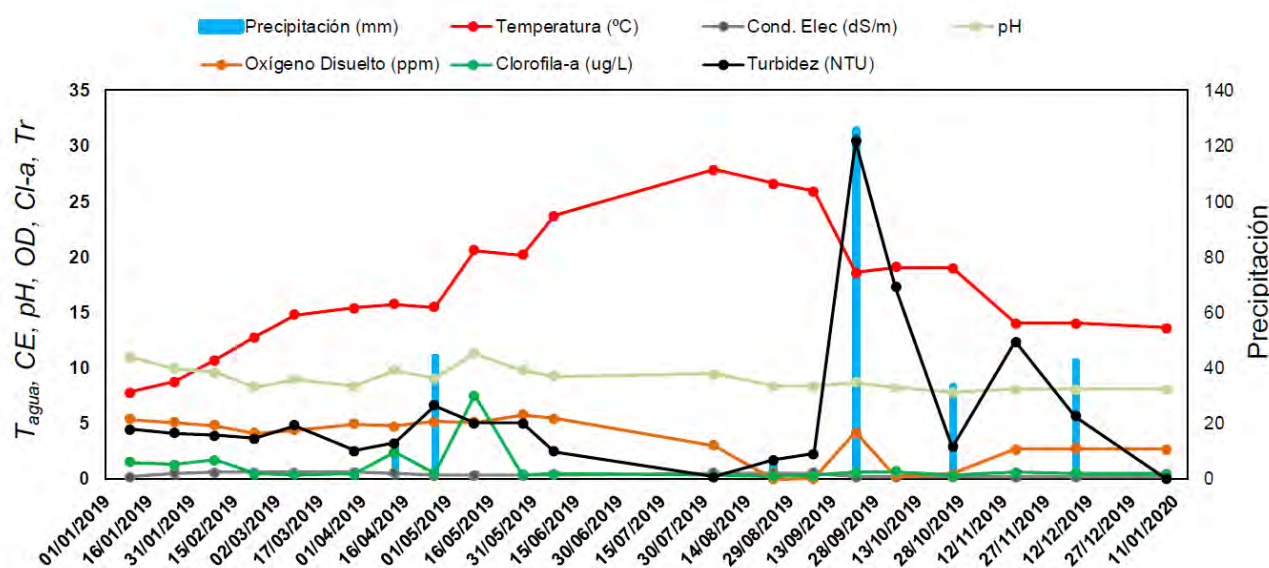


Figura 5. Evolución de los parámetros de calidad de agua analizados durante el ensayo experimental de la cobertura EVAPO-CONTROL-G4.

5- Conclusiones

Este informe presenta los resultados obtenidos tras el ensayo experimental de dos prototipos de cobertura flotante modular, denominados EVAPO-CONTROL-2 y EVAPO-CONTROL-G4. Los prototipos fueron evaluados durante sendos años en balsas agrícolas del sureste español con el fin de (1) determinar experimentalmente su eficiencia como tecnología para la reducción de la evaporación, y (2) verificar experimentalmente su efecto sobre la calidad de agua almacenada para su aplicación en riego agrícola.

Los ensayos se han realizado en balsas de riego representativas de las condiciones existentes en las explotaciones agrarias del sureste español, y bajo las condiciones climáticas también representativas de esta región. Por tanto, los resultados de este trabajo resultan directamente extrapolables a balsas de riego impermeabilizadas con geomembranas para localizaciones del sureste español y, de forma más genéricas, a balsas de riego impermeabilizadas en el ámbito mediterráneo.

La cobertura ha presentado el comportamiento mecánico esperado, sin que se haya observado durante el ensayo de la cobertura EVAPO-CONTROL-G4 el apilamiento de módulos como consecuencia de la fuerza de arrastre del viento. Los módulos han permanecido en todo momento sobre la superficie de agua en la balsa, cubriendo la totalidad de la superficie.

La cobertura EVAPO-CONTROL-G4 ha conseguido reducir la evaporación en un 77,52% durante el ensayo experimental de un año, mejorando ligeramente los resultados del prototipo anterior EVAPO-CONTROL-2, que redujo la evaporación en un 76,16% al ser evaluado durante un año en una balsa experimental localizada en el Campo de Cartagena. Por tanto, este ensayo confirma que se trata de una tecnología eficiente para la reducción de la evaporación en balsas de riego, y que el nuevo prototipo mejora el comportamiento de la versión anterior. El factor de reducción de la evaporación no ha sido constante a lo largo del año, sino que ha variado desde el 70,80% en el mes de enero hasta el 81,56% en el mes de agosto.

Respecto a los efectos de las coberturas EVAPO-CONTROL-2 y EVAPO-CONTROL G4 sobre la calidad del agua, la conductividad eléctrica se ha mantenido en valores muy reducidos y condicionados a la entrada de agua directa de lluvia. La concentración de clorofila-a (proxy de presencia de algas en la balsa) y el valor de turbidez también ha sido prácticamente nulos tras la instalación de la cobertura flotante, evidenciando la eficiencia de la cobertura como técnica de control de la concentración de microalgas en la balsa de riego.

Como consecuencia de estos resultados experimentales, se puede afirmar que la cobertura EVAPO-CONTROL G4 ha alcanzado unas especificaciones técnicas que la hacen muy adecuada para el control de la evaporación y mantenimiento de la calidad del agua en balsas de riego de tamaño moderado, presentando otras ventajas como la sencillez en su instalación y la ausencia de mantenimiento y riesgos climáticos.

6- Agradecimientos

El contenido de esta comunicación es fruto de las actividades desarrolladas en el marco de los contratos de investigación y desarrollo "Evaluación experimental del sistema de cobertura flotante modular EVAPO-CONTROL-2" y "Evaluación experimental del sistema de cobertura flotante modular EVAPO-CONTROL G4", desarrollados durante los años 2018 y 2019 respectivamente por la Universidad Politécnica de Cartagena y la empresa Arana Water Management s.l.

7- Referencias

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration. guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, 300 pp.

Brown, J.A. 1988. The potential for reducing open water evaporation losses: a review. Hydrology and Water Resources Symposium 1988. Camberra, Australia. pp 108–115.

Brutsaert, W., 1982. Evaporation into the Atmosphere. Reidel, Dordrecht, 299 pp.

Craig, I., Green, A., Scobie, M., Schmidt, E., 2005. Controlling Evaporation Loss from Water Storages. NCEA Publication No 1000580/1, Queensland (Australia).

Gallego-Elvira, B., Finch, J.W., Baille, A., Martínez-Álvarez, V., 2009. Evaporation from on-farm storages under a semiarid climate: Measurement and modelling. International Workshop on Evaporation from Reservoirs. Gold Coast, Australia.

Harbeck, G.E., 1962. A practical field technique for measuring reservoir evaporation utilizing mass-transfer theory. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper. 272-E: 101–105.

Maestre Valero, J.F., Martínez-Granados, D., Martínez-Alvarez, V., Calatrava, J., 2013. Socio-Economic Impact of Evaporation Losses from Reservoirs Under Past, Current and Future Water Availability Scenarios in the Semi-Arid Segura Basin. Water Resour Manage. 27:1411–1426.

Martínez, V., Baille, A., Molina, J.M., González-Real, M.M., 2006. Efficiency of shading materials in reducing evaporation from free water surfaces. Agricultural Water Management, 84: 229–239.

Martínez Alvarez, V., González-Real, M.M., Baille, A., Molina-Martínez, J.M., 2007. A Novel Approach for Estimating the Pan Coefficient of Irrigation Water Reservoirs. Application to South Eastern Spain. Agricultural Water Management, 92:29–40.

Martínez Alvarez, V., Calatrava Leyva, J., Maestre Valero, J.F., Martín Górriz, B., 2009. Economic assessment of shade-cloth covers for agricultural irrigation reservoirs in a semi-arid climate. Agricultural Water Management 96:1351–1359.

Molina Martínez, J.M., 2004. Caracterización y modelización de la evaporación en tanques evaporímetros y embalses de riego. Evaluación de los efectos de mallas de sombreado. PhD Thesis, Agricultural and Food Department, Polytechnic University of Cartagena, Spain, 207pp. 22

C-02-2020

TRATAMIENTO ECOLÓGICO PARA LA EUTROFIZACIÓN Y LA ANOXIA EN LAS BALSAS DE RIEGO

Mateos-Aparici Baixauli, Ricardo¹(P)

¹ CEO, Socio fundador de Sewervac Ibérica S.L. Empresa de innovación y soluciones hidráulicas y medioambientales ricardo@sewervac.es

Resumen

Las balsas de riego están expuestas a numerosas problemáticas, la mayoría de ellas relacionadas con la calidad del agua. Es crucial solucionar los problemas acontecidos de una manera natural y respetuosa con el medio ambiente. Mediante la combinación de la aireación natural en el fondo de la balsa y la biorremediación se puede avanzar notablemente en la mejora de la calidad de la masa de agua. Es importante realizar estudios individualizados para cada proyecto con el fin de ajustar la solución a las necesidades particulares de cada balsa de riego.

1) Introducción. Objetivo del Trabajo.

Nuestra empresa **Sewervac**, comprende diferentes divisiones, una de ellas Oxi-fuch®, sus experiencias, avances e investigaciones en este campo son el motivo del desarrollo de este artículo. El motivo por el que nos prestamos al desarrollo de este artículo es la propia esencia de nuestra empresa: ser especialistas en ingeniería, soluciones hidráulicas y medioambientales poco difundidas en el mercado, trabajando en estos campos con profesionales con más de 20 años de experiencia en el sector. Además nuestras líneas de trabajo pretenden aportar, al entorno donde se aplican, garantías ambientales con los más altos estándares de exigencia.

La fuente del agua puede ser muy diversa, embalses, pozos, canales...con mayor o menor concentración de nutrientes, turbidez o concentración de desechos. El agua se ha tratado de múltiples maneras tratando de encontrar una solución global a todos los problemas, pero es importante conocer la peculiaridad de cada balsa, y aprender que la masa del agua es un ser vivo y por lo tanto hay que tratar cada situación de manera individualizada. Las soluciones que se proponen son siempre naturales y respetuosas con el medio ambiente, al mismo tiempo que son económicas y sencillas de instalar. La eliminación de algas, problemas de filtrados, fangos, etc. requieren de soluciones que se puedan adaptar y sean flexibles para cada periodo de tiempo.

El objetivo de este trabajo es mostrar como la aireación natural y la biorremediación son capaces de alcanzar grandes porcentajes de éxito, siempre y cuando se lleve a cabo mediante un estudio especializado de la problemática, casuística de la balsa y un adecuado seguimiento.

2) Descripción del tema y del proceso de ejecución del Trabajo lo más completa posible



Oxi-fuch® trata de buscar la eficiencia y productividad, planificando desde el lecho de la balsa, para mejorar la calidad del agua y prevenir la eutrofización, al menor coste económico y medioambiental.

Necesitamos actuar sobre el origen del problema no sobre sus consecuencias como hasta ahora. El origen es la falta de oxígeno en el agua de la balsa.

Con nuestra aireación profunda se consigue homogeneizar el agua, teniendo la misma composición sin importar la profundidad o longitud de la balsa de riego. Esto previene la formación de estratos y con ello la aparición de varias zonas diferenciadas por la cantidad de oxígeno disuelto en ellas.

Proporcionamos oxígeno, sustancia que necesitan las bacterias para descomponer la materia orgánica y que no se acumulen los fangos en el fondo. De esta manera se evitan malos olores y acumulación de sedimentos y fangos alrededor de la zona anaerobia causantes de la obturación de los filtros impidiendo el paso del agua. Además estas bacterias también consumen los nutrientes que necesitan las algas, dejándolas sin "alimento" y previniendo su aparición. Con nuestra aireación profunda conseguiremos tener unos filtros sin obturaciones y en buen estado, mejorando la calidad del agua y previniendo la eutrofización.

La **aireación natural** se emplea para obtener unos niveles mínimos, constantes y homogéneos de oxígeno en toda la masa del agua. A partir de un compresor de aire nuestra tecnología de tuberías especiales desarrolla de aireación, suministrando micro burbujas **desde el fondo de la balsa**. Frente a problemas de contaminación, resistencia, etc. es importante que seleccionemos un sistema de tuberías de aireación con altos niveles de calidad. Debe ir lastrada para que se deposite en el fondo de la balsa y de esta manera crear cortinas de aireación verticales a lo largo de la balsa de agua.

El **cálculo de la aireación** de la masa de agua se realiza **a partir de la necesidad que tenga cada ecosistema**. Como parámetros principales se necesita una analítica del agua, DQO y DBO principalmente, así como saber la tasa de renovación del agua y el dimensionado de la balsa de regadío. El compresor y el colector también deben ser diseñados acorde a cada proyecto en cuestión, adaptándose a las necesidades de cada balsa y aportando fiabilidad y eficacia a la solución.

El lastre de la tubería de aireación debe ser natural dejando atrás los inicios donde se pudieran aplicar materiales que puedan producir contaminación o ser perjudicial para el ecosistema. También es muy importante **trabajar a la mínima presión** dado que serán pérdidas que repercutirán en un menor consumo energético-eléctrico.

Es importante a la hora de diseñar la solución tener en cuenta diferentes aspectos técnicos como la transferencia de oxígeno en la columna del agua, la variabilidad de la temperatura, el consumo de oxígeno de los microorganismos presentes o la transferencia de oxígeno efectiva en relación a la saturación que tenga en cada momento el agua.

No todo es airear-oxigenar.

Existen riesgos – exigencias al diseñador.

- Correcta elección de compresores: relación horas-vida útil.
- Consumos energéticos equilibrados.
- Homogeneización de la masa del agua.
- Factores de hidrodinámica.



Tubería con arena de sílice lastrada

Recomendaciones y consideraciones relevantes a la hora de seleccionar sistemas de tubería de aireación.

- Máxima flexibilidad para una mejor adaptación al perfil profundo.
- Que disponga de máxima capacidad de aireación con doble columna de burbuja e incluso posibilidad de perforaciones en ambos tubos.
- Que su vida útil no sea menor a 10 años.
- Que sea resistente a retorcimientos en momentos de posibles desmontajes, limpiezas...
- Que su presión de trabajo sea baja marcándonos como un ideal 0,34 atm.
- Que pueda tener resistencia al Ozono 0-5 ppm frente algún posible tratamiento específico.
- Que disponga de una máxima elasticidad frente a cambios de temperatura.
- Evitar productos de relleno para el lastre, que no sean totalmente naturales, lo ideal es arena de sílice o derivados.
- Que sea 100% orgánico y respetuoso con el medio ambiente.
- Que sea capaz de tener una alta resistencia a ácidos, gases y a los rayos ultravioleta.
- Que permita la regulación del PH.
- Que sea resistente frente a bacterias.
- Que las perforaciones se cierren cuando se corte la fuente de alimentación por lo que el agua no pueda penetrar dentro de la tubería y deteriorar la futura efectividad de la aireación.
- Mantener una distribución de las perforaciones cada $\frac{1}{4}$ " que proporcionen burbujas pequeñas y uniformes para una aireación más efectiva que aseguren la máxima transferencia de oxígeno.

Una vez **hayamos tenido en cuenta** las recomendaciones expuestas, nos podremos encontrar con **beneficios** como:

- Reducción de **algas**
- Mejora del mantenimiento del **sistema de filtrado** eliminando obturaciones.
- Reducción de los volúmenes de **fango** y sedimentos del fondo.
- Eliminación de **olores**.
- Eliminación de termoclinas.
- Rotura de la tensión superficial previniendo las **plagas de insectos**.
- Aumento de oxígeno tanto en el sedimento como en las masas de agua.
- Eliminación de los componentes orgánicos.
- Eliminación del tratamiento mediante **químicos**.

BENEFICIOS PARA LOS CULTIVOS:

La **concentración necesaria de oxígeno** para que un suelo esté bien aireado es del **20,7%**, con concentraciones por debajo del **10-15%** algunas plantas inhiben su crecimiento ocasionando grandes pérdidas económicas.

- **Más crecimiento:** En la mayoría de plantas la transferencia de oxígeno no alcanza una tasa suficiente. Por este motivo, en suelos con condiciones físicas desfavorables, la aireación es necesaria para aportar concentraciones suficientes de oxígeno a la zona radicular.



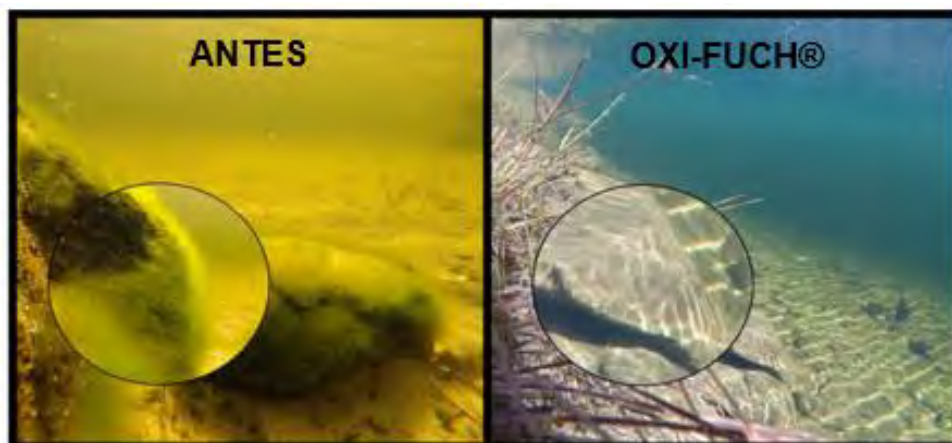
Figura 1. Mayor crecimiento

- **Más Beneficio:** El rendimiento de la producción aumenta de forma notable cumpliendo el ciclo de maduración en menor espacio de tiempo de lo habitual. Una cosecha más voluminosa y un cultivo más productivo, conseguido en menor cantidad de días, ahorrando gran cantidad de agua de riego, gastos de abonos y otros aditivos.
- **Mejor sabor:** Otra factor a destacar es la calidad del sabor de los productos que contendrán una mayor cantidad de azúcares.
- **Cultivo ecológico:** Tecnología natural, sin componentes tóxicos o contaminantes, que permite el cultivo ecológico sin necesidad de usar químicos u otros productos que además no resuelven el problema en su origen.

Los receptores de sistemas de aireación deben solicitar:

- Una justificación técnica del diseño de diámetros y equipos.
- Una justificación de sistemas de control de la eficiencia teniendo un consumo energético adecuado al problema, aunque este sea cambiante.
- Seguimiento y acompañamiento.

- Es importante realizar una correcta planificación del fondo, podemos construir soluciones a modo de caño de aire o disco, en nuestro caso las empleábamos en el pasado, aunque las podemos seguir aportando al mercado, pero pronto pudimos observar su poca eficiencia. Inicialmente eran más económicas en su valor unitario, pero al trasladar su caudal de aire frente a la eficiencia, observamos que eran necesarios muchas más unidades de estos elementos para igualar la implantación homogénea.



Biorremediación

En cuanto a la biorremediación, se trata de revertir el equilibrio actual del ecosistema. Mediante el empleo de diferentes **microorganismos/bacterias** se consigue una **competencia directa y natural** con las algas, lo que favorecerá su desaparición. Los microorganismos deben pertenecer al **grupo 1 de la Unión Europea**, no habiendo sido modificados genéticamente ni alterados en un laboratorio.

El método de aplicación de las bacterias es crucial para la eficacia de dicha solución. Los microorganismos son seres vivos y por lo tanto necesitan un hábitat adecuado y estable. La **aclimatación del producto**, previa a su dosificación, es fundamental para eliminar la problemática de cada lugar.

Hay diferentes cepas de microorganismos con multitud de aplicaciones. Es por ello que la **especificidad** y el empleo de las bacterias adecuadas para cada problemática son de gran relevancia en la **efectividad** de la solución. Las cepas de microorganismos difieren en su tasa de duplicación, en la cantidad de microorganismos o el ratio de alimentación, por lo que deben de tenerse en cuenta todos estos aspectos técnicos a la hora de abordar la solución. Entre las más destacadas se encuentran las bacterias encargadas de **eliminar los nutrientes** presentes en el agua de la balsa y **degradar el fango**.



Bac-asili es otra división de la empresa **Sewervac**, que aprovecha el poder de la biotecnología medioambiental para resolver el problema degradando la materia orgánica y utilizando los nutrientes de forma altamente eficiente.

Emplea bacterias naturales y específicas que son beneficiosas. Se caracteriza por el diseño de bacterias individualizadas para los sectores del riego, masas de agua, depuradoras o bombeos de agua residual.

Las bacterias deben de haber sido desarrolladas específicamente para los problemas de las balsas, principalmente acumulación de fangos y algas.

Se debe usar sólo microorganismos naturales e inofensivos para lidiar con el problema, que se encarguen de degradar la materia orgánica, convertirla en CO₂ y H₂O y eliminar los nutrientes inorgánicos, especialmente el amoníaco, nitrito, nitrato y fosfato, de forma altamente efectiva y medioambientalmente respetuosa.

Por otra parte, deben contener una mezcla cuidadosamente seleccionada de microorganismos naturales que tengan la habilidad de degradar materia orgánica eficientemente y consumir el exceso de nutrientes que dan lugar a la proliferación de algas.

Estos microorganismos utilizan los nutrientes disponibles, dejando a las algas sin “alimento”. Esto ayuda a mejorar la calidad del agua aumentando el nivel de oxígeno disuelto.

Este método de control biológico ayuda a restablecer el equilibrio natural y ecológico del ecosistema acuático.

Algunas de las cepas de este producto pueden funcionar en condiciones en las que el oxígeno está limitado.

En definitiva la biorremediación que os presentamos, es una solución con un gran desarrollo tecnológico y que necesita de unas condiciones mínimas para asegurar una mínima eficacia. La situación ideal es aplicarlas en balsas donde te asegures que haya una concentración mínima y constante de oxígeno disuelto en el agua.

3) Conclusiones, Resultados...

Los **resultados** de ambas tecnologías son: ecosistemas más ricos y estables; y **mejor calidad del agua** de las balsas de regadío.

La aireación favorece la competencia de los microorganismos presentes en el agua frente a las **algas**. Favorece una degradación aerobia del **fango**, eliminando malos olores y mejorando el estado de los **filtros**. Reduce la dureza del agua mediante la oxidación de determinados compuestos. Incrementa el **sabor** y riqueza de los productos al tener una mayor concentración de oxígeno. Homogeneiza la masa del agua, elimina termoclinas. En general una masa de agua rica en oxígeno es un agua de alta calidad.

El uso de microorganismos sirve para incrementar la degradación del fango o para ayudar a crear una competencia mayor a las algas de una manera natural y respetuosa con el medio ambiente.

La combinación de ambas tecnologías busca una mayor eficacia en la respuesta englobando todas las características técnicas que hay que analizar a la hora de solucionar los problemas que sufren las diferentes masas de agua.

La aplicación de **soluciones** en la agricultura tiene que tener como prioridad el **respeto al medio ambiente**. Las soluciones tienen que ser **naturales**, alejadas del uso de soluciones que ataquen a la consecuencia del problema y no a la causa que es, en la mayoría de casos, una concentración reducida de oxígeno.

Es muy importante analizar cada caso como único y específico para poder dar la respuesta más adecuada a cada problemática.

No existe una solución única y global, es necesario analizar, consultar y estudiar cada escenario ofreciendo las herramientas necesarias para dar solución a los problemas de cada balsa. Además de un seguimiento continuado y que permita adaptaciones a nuevos escenarios.

Satisfacción-consejos:

No nos tenemos que dejar llevar tan solo por una primera impresión al ver que se ha dejado de tener algún problema en filtros o desaparición de algas.

Si como lector de este artículo eres un posible receptor de un sistema de oxigenación o biorremediación, usted debe asumir que con su balsa se encuentra ante (buscando un simil) un enfermo que tiene unas determinadas patologías, además crónicas, que los parámetros de la química del agua son cambiantes y que por lo tanto requerirá de un adecuado seguimiento que permita observar la evolución e ir tomando nuevas medidas, si así se requiriese, para mantener el equilibrio deseado. Es decir, su balsa o ecosistema es un ser vivo, sensible y que necesita un seguimiento. En el agua no existe la magia. Le sugerimos que realice un adecuado análisis en su toma de decisiones técnicas y objetivas junto a un seguimiento de los consumos energéticos frente a la calidad del agua.

C-05-2020

BALSA DEL TRASVASE ESLA-CARRIÓN. SU IMPORTANCIA EN EL DESARROLLO RURAL REGIONAL Y UN EJEMPLO DE REGULACIÓN DE RECURSOS Y COLABORACIÓN ENTRE LA ADMINISTRACIÓN Y LAS COMUNIDADES DE REGANTES

Muñoz Gomez, C¹. Gregorio Arroyo, J.T², Saez Gonzalez, R³(P).

¹ Ingeniera Civil. Tecnico. ITACyL.

² Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Unidad de Obras. ITACyL

³ Ingeniero Agrónomo. Subdirector de Infraestructuras. ITACyL

Resumen

Se describe la actuación de transformación de regadío en una zona de la Tierra de Campos de las provincias de Palencia y Valladolid, para lo cual ha sido necesario implementar una solución de regulación de recursos hídricos de invierno, mediante una balsa de 10 Hm³ de materiales sueltos de la zona, que permite poner en regadío más de 2.000 hectáreas en una zona alejada de los cursos de agua regulados. Para ello se emplea como elemento de transporte el Canal de Transvase Esla Carrión, infraestructura que no tiene uso en invierno cuando hay que derivar los recursos. Es una forma de aumentar la capacidad de regulación en una cuenca como la del Duero que es la que peor capacidad de regulación tiene en España, respecto a sus aportaciones. Se describe asimismo los requerimientos en materia de seguridad que una infraestructura como esta tiene, y la fórmula que hay en Castilla y León desarrollar estas actuaciones mediante una colaboración entre el ITACyL y las Comunidades de Regantes.

“Abstract”

The irrigation transformation project in the area of Tierra de Campos (Palencia and Valladolid provinces) is described. The project implemented a regulation reservoir to store water resources from Winter time. The reservoir has a volume of 10 Hm³ and is built in a flat area with embankment dams with materials from the surroundings. The irrigated area covered by the reservoir is larger than 2,000 hectares. The reservoir is located far away from main rivers so it is filled using the Esla Carrión Transfer Canal. This canal has no use during winter when resources must be diverted. This project represents a way of increasing the regulatory capacity in the Duero river basin. This basin is the one with the lowest regulation/contributions ratio within Spain. The paper also describes the security requirements of the infrastructure, and the formula that exists in Castilla y León to develop these actions through a collaboration between the regional government by means of ITACyL and the Irrigation Districts.

1.- Introducción. Objetivo del Trabajo.

El objetivo de este trabajo es describir la planificación y ejecución de las infraestructuras necesarias para la transformación en regadío de una zona de 2.136 hectáreas en un sector ubicado en el corazón de la denominada Tierra de Campos en las provincias de Palencia y Valladolid, dotándola de una regulación característica, mediante una balsa fuera de cauce de 10 Hm³, que se llena fundamentalmente con aguas invernales del río Cea, mediante el uso de infraestructuras existentes de transporte, como es el Canal de Trasvase Esla-Carrión. Se trata de mostrar una forma de disponer de recursos hídricos en una zona alejada de ríos que

puedan aportar estos recursos, mediante balsas fuera de cauce, poniendo de manifiesto las ventajas e inconvenientes que este tipo de soluciones tienen.

Además, en el presente trabajo se expone una fórmula de colaboración entre la Administración y la Comunidad de Regantes creada para gestionar esta zona de riego, de forma que se atienden las necesidades en materia de seguridad de presas y balsas de esta singular regulación.

2.- Descripción del tema y del proceso de ejecución del Trabajo.

2.1.- La importancia del regadío en Castilla y León

La importancia que tiene el regadío sobre la población y la vertebración del territorio es sobradamente conocida. En Castilla y León el sector agrario representa prácticamente el doble de su valor en España y casi cuatro veces más que el valor que este sector tiene en la UE. El peso del sector agrario en nuestra comunidad se encuentra en torno al 5,5% del VAB regional y si le añadimos el peso de la industria alimentaria regional alcanza en su conjunto un valor del 10% del VAB regional, dando trabajo a más de 100.000 personas en la región.

La agricultura regional es bastante sensible a las variaciones meteorológicas anuales. Las producciones de los cultivos en Castilla y León pueden llegar a tener variaciones medias de hasta el 25%, debido a la fluctuación de las condiciones meteorológicas, y sobre todo al régimen de lluvias. Esto hace que las explotaciones agrícolas de secano tengan una dependencia extrema del medio. El regadío contribuye a reducir este problema, ya que reduce la dependencia de estos factores, incrementando las posibilidades de la alternativa y permitiendo aumentar las garantías en la consecución de los márgenes de las explotaciones.

Los datos oficiales del Ministerio de Agricultura y Ganadería contenidos en la Encuesta sobre superficies y rendimientos del año 2018, establecen una superficie regada en Castilla y León de 448.485 hectáreas.

Tabla 1.- Encuesta sobre superficies y rendimientos. Año 2018. MAPA

Comunidad Autónoma	Superficie regadío (ha)	Total, superficie de cultivo	Superficie Geográfica (ha)	Sup. Regadío/Sup. Cultivo (%)	Sup. Regadío/Sup Total (%)
Galicia	16.871	369.077	2.957.557	4,57	0,57
P. de Asturias	483	24.954	1.060.354	1,94	0,05
Cantabria	424	6.987	532.944	6,07	0,08
País Vasco	8.041	82.510	723.296	9,75	1,11
Navarra	101.401	329.004	1.039.038	30,82	9,76
La Rioja	41.769	157.542	504.503	26,51	8,28
Aragón	408.757	1.791.074	4.772.040	22,82	8,57
Cataluña	260.601	822.681	3.210.613	31,68	8,12
Baleares	19.625	166.301	499.170	11,80	3,93
Castilla y León	448.485	3.557.687	9.422.372	12,61	4,76
Madrid	20.187	207.181	802.749	9,74	2,51
Castilla La Mancha	553.888	3.709.967	7.946.100	14,93	6,97
C. Valenciana	290.720	643.855	2.325.913	45,15	12,50
R. de Murcia	183.517	474.640	1.131.387	38,66	16,22
Extremadura	280.857	1.077.728	4.163.442	26,06	6,75
Andalucía	1.048.617	3.548.596	8.758.808	29,55	11,97
Canarias	19.498	43.907	744.510	44,41	2,62
TOTAL	3.703.741	17.013.691	50.594.796	21,77	7,32

Esto significa que Castilla y León dispone de un 12,10 % de la superficie total regada de España, siendo la tercera Comunidad Autónoma en cuanto a esta superficie, después de Andalucía (28,31 %) y Castilla La Mancha (14,95 %).

Sin embargo, la superficie de regadío es solamente el 12,61 % de la superficie que ocupan los cultivos, cifra inferior al resto de Comunidades autónomas, a excepción de las del norte de España, que, por sus condiciones climáticas, precisan del regadío en menor medida para obtener sus producciones agrícolas.

La creación de nuevos regadíos o la modernización de los mismos, son tradicionalmente una de las medidas más eficaces en la mejora de la competitividad de las explotaciones y por lo tanto del desarrollo rural, debido a las siguientes razones:

- Aumento y estabilización de la producción, lo que evita los desajustes y mejora la renta las explotaciones. Una hectárea de regadío genera un valor agregado bruto 3,5 veces superior al de una hectárea de secano. Los nuevos regadíos, asimismo, permiten diversificar la producción.
- Desde la perspectiva del desarrollo rural, la aportación del regadío es fundamental.

Primero, porque su potencial de trabajo triplica al del secano, contribuyendo con ello al mantenimiento de la población en el medio rural. La densidad de población es hasta 3 veces superior en zonas de regadío de alta intensidad respecto a zonas de secano. Las zonas de regadío presentan unas tasas de actividad muy superiores. El número de trabajadores es 3,6 veces superior (Figura 1).

El número de incorporaciones de jóvenes agricultores es 6,5 veces superior en zonas de alta intensidad de riego, que en zonas de secano (Figura 1).

La inversión total sujeta a ayudas de modernización es 7,5 veces superior a la que se produce en las zonas de secano (Figura 1).

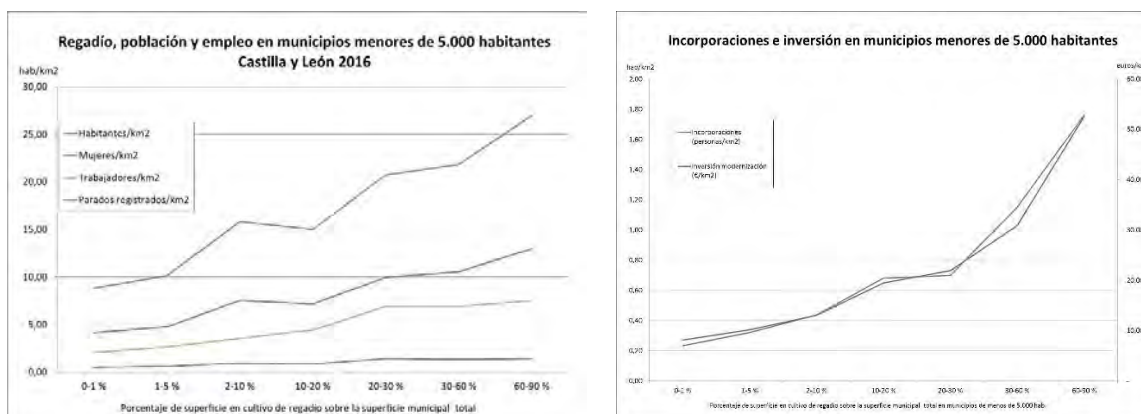


Figura 1. Efectos del regadío sobre la población, el empleo la incorporación de jóvenes y la inversión en municipios de menos de 5.000 habitantes en Castilla y León. Indicadores del Mapa de Infraestructuras de Castilla y León. Consejería de Agricultura y Ganadería 2016.

Segundo, porque favorece la generación de sinergias al potenciar muchas otras actividades en este medio. Así la industria agroalimentaria asociada a las producciones de regadío es una fuente de riqueza, empleo y desarrollo fundamental en muchas zonas rurales. La necesidad de adaptar a los mercados las producciones y la conveniencia de consolidar el sistema agroalimentario se consideran objetivos fundamentales a los que el regadío contribuye intensamente.

- En el caso de las modernizaciones, se estima una reducción de los costes energéticos en más de un 50%, al pasar de utilizar motores de gasoil a un sistema comunitario a través de una estación de bombeo moderna con rendimientos muy altos.
- Reducción de los costes de producción, concretamente en un menor uso de fertilizantes al evitarse pérdidas por lavado de los nitratos con motivo de un uso adecuado de las cantidades de agua. Esto en la práctica se traduce en ahorros de entre un 25 y un 30 % en el abonado nitrogenado para obtener las producciones máximas. El coste de riego por aspersión en una zona modernizada es un 33,83% inferior al coste del riego por aspersión en una zona no modernizada.
- Contribuyen a la sostenibilidad ambiental, pues reducen considerablemente el uso de agua con cifras medias del 20-25 %, permitiendo una adecuada gestión de los recursos naturales renovables de que se dispone. La producción en el futuro deberá tener la consideración de sostenible, y los regadíos modernos permiten realizar la actividad de forma competitiva para las explotaciones y respetando los valores ambientales del medio rural en el que se desarrolla. Además, este ahorro se produce al mismo tiempo que se intensifica la alternativa con cultivos de verano de alta demanda debido a una mayor eficiencia de distribución y aplicación.
- El número de incorporaciones de jóvenes en zonas modernizadas es un 80 % superior respecto a zonas de regadío no modernizadas. La inversión particular de los agricultores en zonas modernizadas es un 240% superior a zonas no modernizadas.

Debido, en consecuencia, a que los regadíos se constituyen como una de las medidas más eficaces para la generación de actividad, el mantenimiento de la población y la creación de empleo en el medio rural, las inversiones de regadío se siguen considerando prioritarias en este nuevo periodo de programación en la Comunidad Autónoma.

2.2.- La necesidad de incrementar la capacidad de regulación

En los últimos años hemos podido comprobar como la situación de déficit de recursos disponibles es una situación que puede extenderse al conjunto de la cuenca, y que las consecuencias de lo que se denomina cambio climático hacen necesario seguir actuando para poder hacer frente de la mejor manera posible a este fenómeno adverso. La realidad es que las condiciones climáticas, acentuadas por este cambio climático, hacen absolutamente imprescindible poder disponer de los recursos en los momentos en los que se precisan, siendo totalmente necesarios para el mantenimiento de la actividad socioeconómica de nuestro territorio, del empleo y la población en el medio rural, y constituyéndose como elemento esencial en la vertebración de nuestro extenso y despoblado territorio.

Si se hace un análisis de la regulación en esta cuenca, comparativamente con el resto de las cuencas de España, el resultado puede reflejarse en el siguiente gráfico, obtenido con datos reflejados en las planificaciones hidrológicas de las diferentes cuencas (Figura 2):

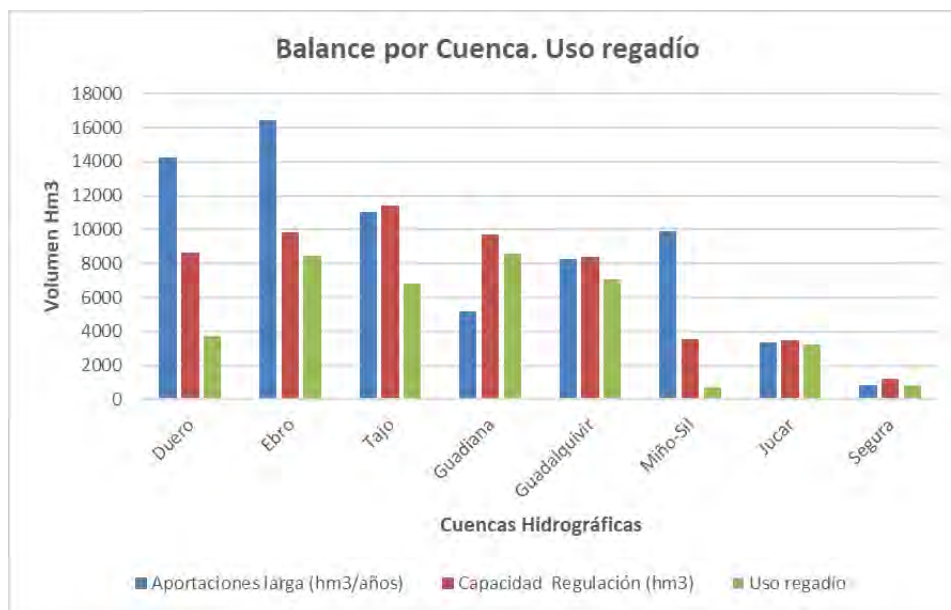


Figura 2. Comparación de la capacidad de regulación para diferentes cuencas de España. Elaboración propia con datos del Estudio “*Posibilidades de aumento de recursos hídricos disponibles en Castilla y León*”. Universidad de Burgos. 2019

Este gráfico pone de manifiesto los siguiente:

1º) La cuenca del Duero es una de las que más aportaciones tiene, la segunda por debajo de la del Ebro, pero su capacidad total de regulación es prácticamente la mitad de las aportaciones medias. Resulta evidente que este déficit es una dificultad para atender las necesidades.

2º) En la mayoría de las cuencas de España la capacidad de regulación es superior a las aportaciones, a excepción del Ebro, el Duero y el Miño. Esto es especialmente notable en algunas como el Guadiana (186 %) y en el Segura (176 %), si bien en esta última las aportaciones son muy reducidas. Estas, donde la capacidad es prácticamente el doble que las aportaciones, son las únicas cuencas que pueden tener capacidad de regulación hiperanual, algo que en el caso del Duero está muy lejano.

3º) Si se profundiza un poco más en la regulación del Duero, a diferencia de otras cuencas, además una buena parte de esta regulación está aguas abajo de los posibles usos. Los embalses que se sitúan en la frontera con Portugal (Almendra, Ricobayo, Saucelle, Aldeadávila y Castro), suponen una capacidad de regulación de más de 4.100 Hm³, que es un 48 % de la capacidad total de regulación de la cuenca del Duero. Estas regulaciones están, como se ha indicado aguas abajo de los posibles usos en la cuenca, por lo que no pueden tener prácticamente otro aprovechamiento que el hidroeléctrico, no pudiéndose destinar a usos consuntivos en nuestro territorio. Esta diferencia es muy importante entre el caso del Duero y el resto de las cuencas, pues reduce realmente la capacidad de regulación a estos efectos a menos de 4.000 hm³. Esta situación coloca a la cuenca del Duero en cifras y posibilidades de aprovechamiento de los recursos regulados muy lejanos a cualquier otra cuenca de España. A tenor de estos datos, la cuenca del Duero es la que menos aprovechamientos regulados tiene de España.

En la situación actual, y dado que los hechos nos están mostrando que, además de la reducción de la precipitación y las aportaciones, el cambio climático trae como consecuencia un incremento de los fenómenos extremos, donde se producirán épocas de exceso de precipitaciones más intensas de lo normal y épocas de sequías, también más acentuadas de lo normal, parece absolutamente necesario que se contemplen estas actuaciones, si no queremos sufrir con el máximo rigor las consecuencias del cambio climático.

Se trata de una situación que hay que plantear como crítica en las condiciones españolas, con especial gravedad en el Duero, dada la escasez de capacidad de regulación, que debe llevar a plantear soluciones totalmente estratégicas, y si se quiere fuera de los cauces habituales, como corresponde a situaciones de absoluta excepcionalidad.

2.3.- La balsa del trasvase Esla-Carrión. Antecedentes

Como ejemplo de una posibilidad de regulación de recursos invernales, se muestra la zona regable del Sector IV del Canal Esla Carrión, para cuyo desarrollo ha sido necesaria la construcción de una balsa fuera de cauce.

El desarrollo de esta zona regable parte de los compromisos teóricamente adquiridos por la Confederación Hidrográfica del Duero cuando se ejecutaron las obras del Canal de Trasvase desde el Esla al Carrión, como solución provisional para aportar recursos adicionales a las zonas regables dependientes del río Carrión, como consecuencia de no ejecutar la presa de Vidrieros. La construcción del Canal incluía, entre las condiciones de expropiación, la dotación de agua a los municipios afectados, para la transformación en regadío de una superficie proporcional a la superficie expropiada.

Por Acuerdo de la Junta de Castilla y León 18/2003 de 30 de enero (B.O.C. y L. nº 24 de 5 de febrero), se declara la utilidad pública y urgente ejecución de las mejoras y obras a ejecutar en la Zona Regable del Esla Carrión, en las provincias de León, Palencia y Valladolid, estableciendo que las obras a ejecutar en los municipios de Sahagún en León, Fontihoyuelo, Herrín de Campos, Melgar de Arriba, Santervás de Campos, Villacarralón, Villafrades y Villalón de Campos en Valladolid y Autillo de Campos, Boadilla de Rioseco, Frechilla, Fuentes de Nava y Guaza de Campos en Palencia, deberán estar incluidas en el correspondiente Plan de Mejoras Territoriales y Obras redactado por la Consejería de Agricultura y Ganadería.

Con el fin de dotar de agua a las zonas con concesión, se redactó por parte de la Dirección General de Desarrollo Rural de la Junta de Castilla y León el Plan de Mejoras Territoriales y Obras, que fue aprobado por Orden AYG/723/2003 de 19 de mayo de 2003 (BOC y L de Jueves 5 de junio de 2.003) y posteriormente modificado por Orden AY/1330/2003 de 16 de octubre de 2003.

En este documento se recoge una sectorización de la zona regable en cinco sectores, dando el nombre de Sector IV al que nos ocupa. Los cinco sectores son los siguientes (se reflejan en el plano que se acompaña a continuación, Figura 3):

TRANSFORMACIÓN EN REGADÍO SECTOR IV TRASVASE ESCLA-CARRIÓN

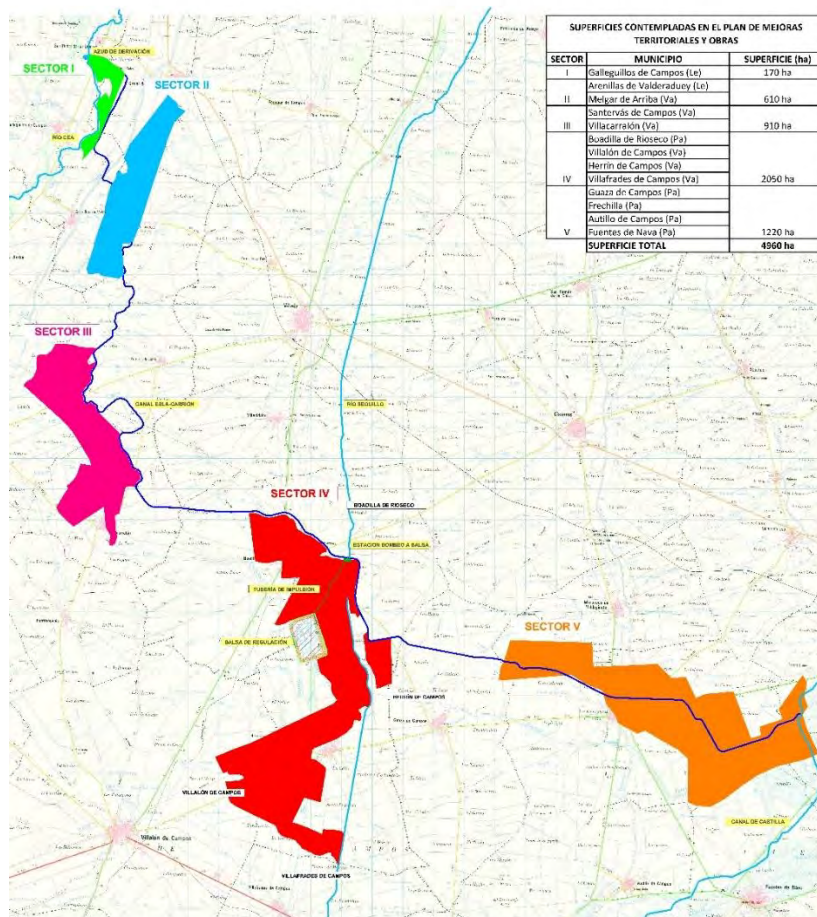


Figura 3. Planificación de los regadíos de la zona regable del Esla-Carrión. Elaboración propia.

La superficie comprometida por la Confederación como consecuencia de las obras del Canal en esta zona fue de 472 hectáreas. La causa de este desfase entre las superficies concedidas y las que se pretenden poner en regadío, es que, con posterioridad a las superficies concedidas por confederación, se detectó un gran interés por aumentar la zona regable en Herrín de Campos y extender su área de influencia a los vecinos Villalón y Villafrades de Campos. Ante esta situación se procedió en el plan de mejoras territoriales y obras a proponer una balsa que permitiera hacer frente a las superficies demandadas, almacenando aguas invernales, sin comprometer los consumos estivales concedidos por el canal.

En el Plan de Mejoras se hace referencia a la concesión inicialmente prevista de 400 l/s, en función de los compromisos expropiatorios, suficientes para las demandas inicialmente previstas, pero no para la demanda real de riego, por ello y para hacer frente a la misma, se proyecta una balsa de acumulación de 10 Hm³ que pretende llenarse con aguas invernales transportadas por el canal y procedentes del río Cea.

Posteriormente en marzo de 2004 por parte de Técnicos del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León se procede a redactar el Proyecto Básico de Transformación en Regadío de

la Zona en cuestión con el fin de determinar con más verosimilitud los costes reales de la inversión y además tramitar la concesión de aguas. Para ello, en dicho documento, se recoge como propuesta el adelanto de la campaña de desembalse del Canal del trasvase en 70 días, respecto a la inicialmente prevista (el 1 de abril), bombeando 2.400 l/s hasta esa fecha en que comienza la campaña de riegos por parte de la Confederación Hidrográfica del Duero. A partir de esa fecha, permitir extraer la concesión comprometida original de 400 l/s. De esta forma la concesión permitiría llenar la balsa y satisfacer las demandas reales de la zona regable que nos ocupa.

2.4.- Proceso de concentración parcelaria

Además, se ha realizado por la Dirección General de Producción Agropecuaria y Desarrollo Rural, la Concentración Parcelaria de la Zona, en aplicación del Artículo 71 de la ley 14/1990, por Orden AyG/1508/2003 de 17 de noviembre (BOC y L de 26 de noviembre de 2003). Las Bases Definitivas fueron aprobadas con fecha el 22 de julio de 2005. El Acuerdo de Concentración se aprobó el 16 de julio de 2009 y la toma de posesión se realizó el 16 de octubre de 2010.

El proceso ha comprendido una superficie total de 16.296 ha correspondientes a 1260 propietarios en la totalidad de los cuatro términos municipales incluidos en la actuación. El hecho más importante es que de 4.759 parcelas aportadas inicialmente por los propietarios se han pasado a 2310 fincas de reemplazo adjudicadas, lo que supone la reducción en un 48 % el número de parcelas entregadas.

Tabla 2.- Resumen del resultado de la concentración parcelaria. Elaboración propia con datos del Acuerdo de Concentración, Julio de 2009.

CONCLUSIONES DEL PROCESO DE CONCENTRACIÓN PARCELARIA	ANTES	DESPUÉS (PROYECTO)
Nº TOTAL DE PARCELAS	4.759	2.310
Nº PARCELAS POR PROPIETARIO	3,76	1,83
SUPERFICIE MEDIA DE LAS PARCELAS	3-37-38 ha	6-87-33 ha

En este momento, en virtud de la Ley 1/2014, de 19 de marzo, Agraria de Castilla y León, todas las actuaciones financiadas por la Comunidad Autónoma en materia de regadíos, ya sea modernización de regadíos, ya sea nueva transformación han de ir complementadas con un proceso de concentración parcelaria.

2.5.- Desarrollo de las obras en la zona

Para poder ejecutar las obras y tramitar la correspondiente concesión de aguas, se procedió a la tramitación ambiental de la actuación, sometiendo a trámite de impacto ambiental las obras incluidas en el Plan de Obras y Mejoras Territoriales del Sector IV, siendo publicada la declaración de Impacto Ambiental del mismo por Resolución de 23 de octubre de 2003 (BOC y L de 31 de Octubre de 2003), sobre los proyectos de concentración parcelaria y transformación en regadío del Sector IV de la Zona Regable del Canal Esla Carrión, en los términos municipales de Villalón de Campos, Villafrades de Campos y Herrín de Campos en

la provincia de Valladolid y Boadilla de Rioseco en Palencia, promovido por la Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León

Respecto al otorgamiento de la concesión, ésta se solicitó con fecha 23 de marzo de 2004. Con fecha 4 de mayo de 2004 se publicó en el Boletín Oficial de la Provincia de Valladolid anuncio sobre la petición de concesión para la superficie de 2050 hectáreas, correspondiente a este sector. El mismo anuncio se publicó en el Boletín Oficial de la Provincia de Palencia el 10 de mayo de 2004, al existir superficie de transformación en las dos provincias.

Los proyectos, en el marco del trámite correspondiente, fueron enviados a la Confederación Hidrográfica del Duero con fecha 6 de mayo de 2004.

Después de una discusión importante sobre la validez de la declaración de impacto ambiental que publicó la Junta de Castilla y León, respecto al trámite de otorgamiento de la concesión, por parte de la Confederación Hidrográfica del Duero, que demoró este trámite varios años, con fecha 23 de marzo de 2012 se otorgó una concesión de aguas a la Dirección General de Producción Agropecuaria y Desarrollo Rural, para el riego de 2.050 hectáreas, con un volumen máximo anual de 10 Hm³, con aguas procedentes del río Cea y del río Esla, a trasladar por el canal Cea Carrión. Las aguas se derivarán del río Cea entre el 1 de noviembre y el 31 de marzo, en un periodo no superior a 90 días, y del río Esla entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de cada año.

Las obras ejecutadas y en ejecución en la zona y su estado actual se distribuyen en varios proyectos, que son los siguientes:

1º) Proyecto de "Infraestructura rural de la zona de concentración parcelaria de Herrín, Villafrades, Villalón y Boadilla de Rioseco -Fase I- (Valladolid-Palencia)": Ejecutadas en su totalidad, incluían la ejecución de las siguientes actuaciones más importantes: construcción de una red de caminos de 343 km de longitud, todos ellos estabilizados con zahorra natural, ejecución de una red de desagües de 295 km de longitud, realización de 689 obras de fábrica tipo caño de diferentes diámetros, así como 5.030 m³ de escollera de protección de márgenes de arroyos. La inversión total de esta obra alcanzó 10.389.837,06, finalizando en el año 2015.

2º) Proyecto de "TRANSFORMACIÓN EN REGADÍO DEL SECTOR IV DE LA ZONA REGABLE DEL TRASVASE ESLA-CARRIÓN. OBRAS DE INTERÉS GENERAL (VALLADOLID-PALENCIA)". Estas obras finalizaron en el año 2015, por importe de 22.898.411,30 €, IVA incluido. La obra consiste en la ejecución de una captación sobre el canal del Trasvase Esla-Carrión, y conducción hacia una estación de bombeo con la instalación de equipos de desbaste y filtrado automático. La estación de bombeo impulsa el agua a una presión de 1,9 bares y un caudal variable entre 400 y 2400 l/s función del volumen que ponga a disposición la Confederación Hidrográfica del Duero.

La impulsión tiene una longitud de 2.410 metros en tubería de hormigón con camisa de chapa hasta una balsa de materiales sueltos de regulación anual con una capacidad máxima de 9,8 Hm³ impermeabilizada con arcilla procedente de la excavación, protección de dique con piedra escollera, altura de lámina de agua de 10 m y superficie ocupada en planta de 117 ha. Adicionalmente se instalan sistemas redundantes de seguridad para el llenado y vaciado, la auscultación de la balsa, así como de comunicación para el control en tiempo real vía web de su estado. Incluye la restauración ambiental del medio natural de la zona, con la ejecución de un observatorio de visualización de aves, plantaciones arbóreas y arbustivas y seguimiento arqueológico y ambiental.



Figura 4. Diseño del llenado de la balsa.



Figura 5. Sección de infraestructuras de llenado de la balsa.

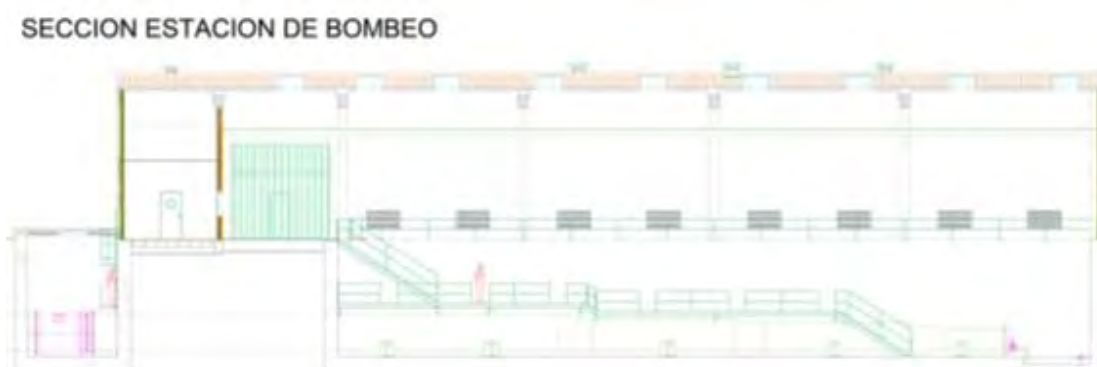


Figura 6. Sección de la estación de bombeo.

La balsa incluida en el proyecto tiene la siguiente sección tipo:



Figura 7. Sección tipo de la balsa.

Como se observa en la imagen está compuesta por un repie de escollera de protección contra el oleaje, un núcleo (que engloba el clásico espaldón interior y el núcleo de una sección heterogénea de materiales sueltos), un filtro dren tipo sherard unido a un manto de grava y un talud exterior compuesto por los materiales menos impermeables del vaso.

La mayor complejidad de esta balsa debido a su extensión es el control de materiales del núcleo y evitar la comunicación de materiales filtrantes con el exterior de la balsa.

La zona en la que se sitúa la balsa está compuesta por materiales que van desde arcillas de plasticidad media a arenas pasando por arcillas limosas, limos arenosos y arenas limosas. El estudio geotécnico inicial consistió en realizar 6 sondeos en el eje y una malla de calicatas de 100*100 m para poder definir un plano en 3 dimensiones de las capas subhorizontales de cada uno de los materiales existentes. Con esta información se realizó un diseño previo que se fue complementando con zanjas de dos a tres metros de profundidad que servían para corregir el modelo inicial.

Una vez realizado el análisis geotécnico de las zanjas se definieron las zonas y espesores de los materiales utilizables para la formación del núcleo y del talud exterior y se vigiló tanto la procedencia del material como la compactación del mismo durante todo el horario de actividad de la maquinaria.

El otro punto crítico de control era el terreno situado bajo el zanjón de anclaje, puntualmente teníamos información con los sondeos, pero es insuficiente para conocer longitudinalmente el eje del zanjón por lo que se optó por realizar una tomografía correlacionada con los sondeos. A continuación, se incluyen tres perfiles obtenidos de la tomografía.

En el primero se observa que hay arenas con una continuidad hacia el exterior de la balsa y al excavar el zanjón se corroboró la presencia de esas arenas por lo que se ejecutó una pantalla de bentonita en esa zona. En el resto de las secciones se ven colores azules o verdes que se corresponden con arcillas de baja a media plasticidad y pequeñas zonas de arenas y limos que se impermeabilizaron aumentando ligeramente la profundidad del zanjón de anclaje.

<p>3º) Proyecto de "REDES DE DISTRIBUCIÓN DEL SECTOR IV DE LA ZONA REGABLE DEL TRASVASE ESLA-CAMPOS". El proyecto al igual que las actuaciones de las obras de interés general ha sido redactado por el ITACyL y está siendo dirigido por</p>	
---	--

personal técnico de este Instituto. Las obras en ejecución en este momento, consisten en la ejecución de una estación de bombeo al pie de la balsa principal que, captando las aguas previamente filtradas, impulse el agua hacia la red de riego en un caudal máximo de 3.025 l/s y una presión máxima de 7,9 bar. La distribución será a través de una red de tuberías de diámetro entre 1.800 y 160 mm que, de forma ramificada, finalice en cada parcela con un hidrante donde se garantice una presión y un caudal necesario para el riego por aspersión. Además, se proveerá de un sistema de control automatizado para la supervisión del riego de forma telemática. Adicionalmente se construirá una línea eléctrica y centro de transformación para el suministro eléctrico de la estación de bombeo. El presupuesto de adjudicación es de 15.029.548,93 euros.

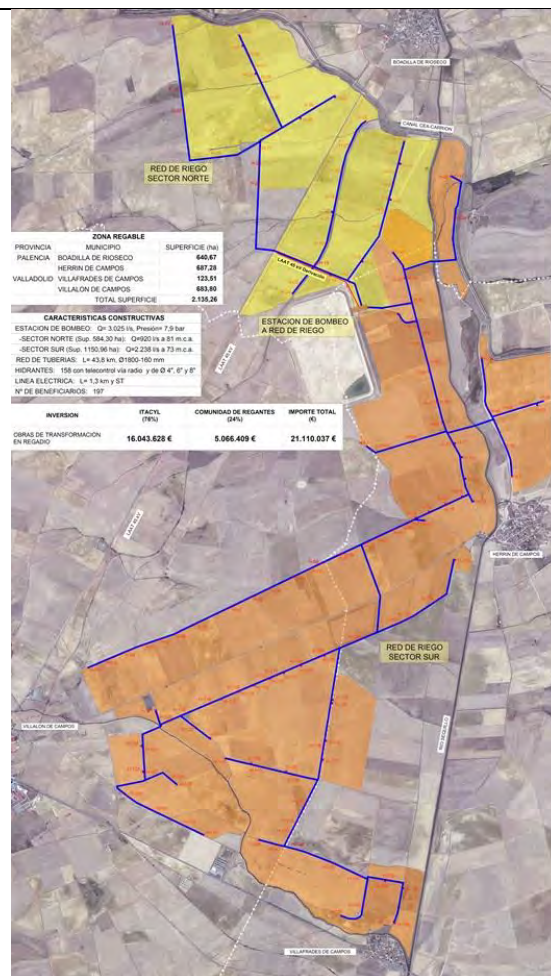


Figura 8. Planta de la red de riego.

2.6.- Cumplimiento de las obligaciones en materia de seguridad de presas y balsas.

Se trata de una balsa de materiales sueltos con una tipología encuadrada entre las presas homogéneas y heterogéneas para poder aprovechar los materiales del vaso. La altura máxima de los taludes es de 15 metros y la superficie de ocupación total es de aproximadamente 120 ha.

De acuerdo con el artículo 358.a) del Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico ésta balsa se clasifica como gran presa. Según el artículo 367.1 de este mismo Reglamento, el titular está obligado a solicitar su clasificación y registro. Por lo anterior, desde el ITACyL se redactó la propuesta de clasificación de la balsa en función del riesgo potencial que pueda derivarse de su posible rotura siendo clasificada como Categoría A.

Para dar cumplimiento a lo establecido en el artículo 5.7 del Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses (1.996) se redactan las Normas de Explotación de la balsa que son aprobadas por la Dirección General del Agua.

Según la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil también es obligatoria la redacción de un Plan de Emergencia que fue aprobado por la Dirección General del Agua.

Aprobado el Plan, el titular de la balsa dispone de dos años para implantarlo. En el caso de la balsa que nos ocupa la implantación ha finalizado 10 de marzo de 2020 y tiene la particularidad de que se emplea un Centro de Gestión de Emergencia Móvil (figura 9) que, entre otras funciones, permite las comunicaciones con todos los organismos implicados en el plan de emergencia de la balsa y con los sistemas de aviso a la población, consistente, en este caso, en una sirena con 12+4 altavoces ubicada al pie de la balsa. También permite vigilar las instalaciones a través de las imágenes recogidas por las cámaras instaladas.



Figura 9. Centro de Gestión de Emergencia Móvil

Cuando el ITACyL acometió en el año 2013 la primera implantación de un Plan de Emergencia el reto que se planteó fue el de disponer de los mismos medios y herramientas de gestión y control que los titulares con mayores recursos, pero adaptados a su realidad, un número elevado de elementos (presas/balsas) a gestionar, que se encuentran en medio del campo, sin ninguna vigilancia, sometidas a actos vandálicos y con un presupuesto para su explotación y mantenimiento ajustado. Con el objetivo anterior como meta, se optó por recurrir a un Centro de Gestión de Emergencia Móvil para el desarrollo de las labores de explotación y emergencias que permite gestionar varias presas/balsas simultáneamente con una reducción de los costes de mantenimiento, explotación, licencias, actualización de equipos y gestión de la ciberseguridad.

En aquel momento, adoptar esta opción era bastante novedosa, aunque ya se recogía como alternativa en los acuerdos de la Comisión Nacional de Protección Civil. Con posterioridad, ha sido implantada en numerosas presas y balsas y en la Guía para la Implantación de Planes de emergencia de presas, publicada en 2017, se recoge esta alternativa siempre que integre el sistema de comunicaciones, el sistema de aviso a la población, y que disponga de toda la información relativa a la presa/balsa y a su Plan de Emergencia.

De esta manera, el Centro de Gestión de Emergencia Móvil, que nació como un mero gestor de emergencias, ha evolucionado hasta desarrollar una plataforma web que permite llevar una gestión integral de la explotación de diversas infraestructuras hidráulicas al implementarse, entre otras utilidades, el sistema de auscultación de la presa/balsa, el archivo técnico, el plan

de mantenimiento y prealertas o la videovigilancia. En la figura 10 se muestra la interfaz y los módulos implementados en el sistema actual.

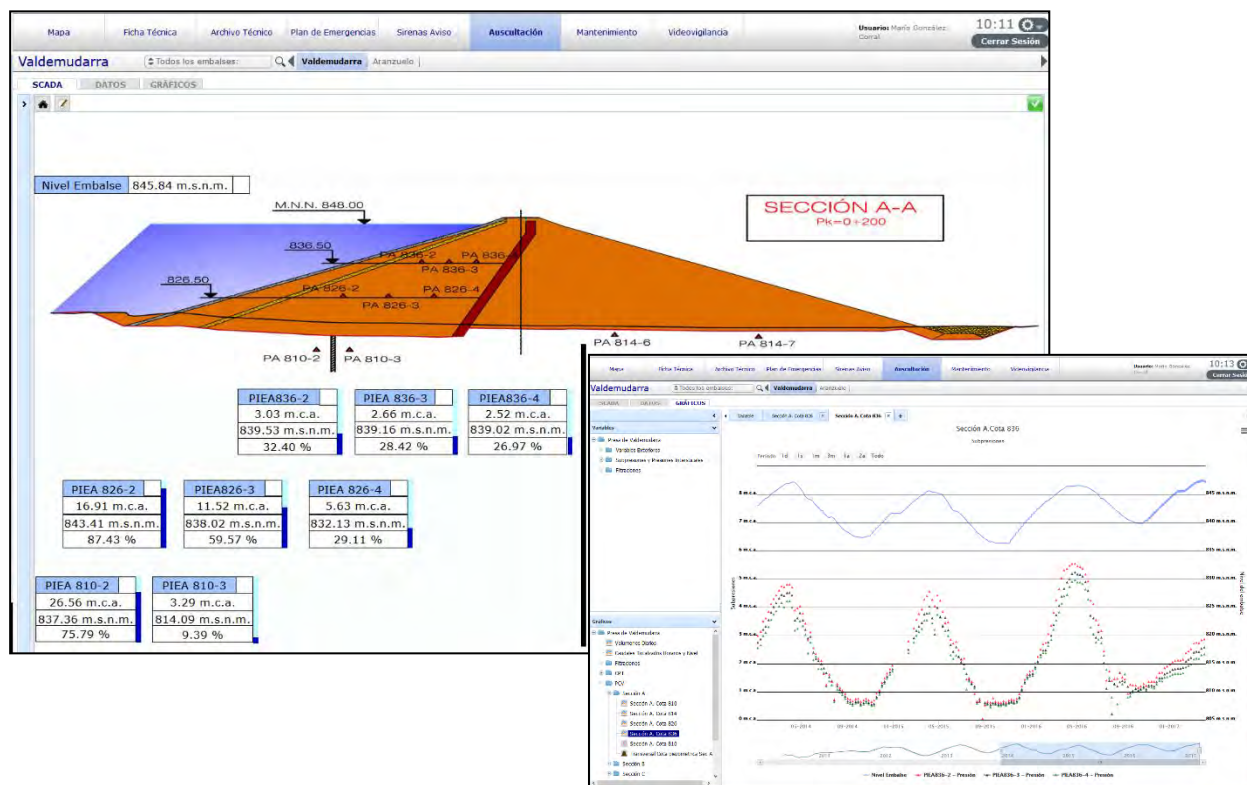


Figura 10. Interfaz del módulo de Auscultación y generación de gráficos (iDam by Lafcarr)

Finalizada la implantación, se ha iniciado en estos momentos la Puesta en Carga de la balsa. Para llevar a cabo esta fase el titular de la balsa designa a un técnico competente que es el encargado de redactar el Plan de Puesta en Carga y desarrollar sus contenidos. Cuando se dé por finaliza esta fase ya puede decirse que la balsa se encuentra en explotación y es cuando surge la figura del Director de Explotación y del Plan de Emergencia.

Hasta la fecha, todos estos trámites se realizan desde el ITACyL que como promotor de las obras es titular de la misma, pero el Instituto desarrolla todas estas infraestructuras para entregárselas a comunidades de regantes que pasan a ser titulares de las mismas y por tanto responsables del cumplimiento de la normativa vigente en materia de seguridad. No obstante, siendo de vital importancia garantizar la seguridad de las presas/balsas, por parte de la Junta de Castilla y León se consideró conveniente asumir la realización de determinados trabajos técnicos, como asunción voluntaria de una obligación que no es suya, pero que se enmarca dentro del interés general, previa firma de un convenio de colaboración entre las comunidades de regantes y el ITACyL.

En estos convenios quedan definidas las tareas que asumirán cada una de las partes y sus costes. Por parte de las Comunidades de Regantes asumirán los costes ordinarios de explotación y un canon a pagar al ITACyL. Mientras que el Instituto redactará proyectos, ejecutará las obras necesarias y asumirá la dirección de explotación y de los planes de emergencia.

Al gestionar el Instituto de manera conjunta un grupo de presas/balsas se consiguen abaratar los costes de desplazamientos y se comparten gastos de explotación e implantación de planes de emergencia.

En la tabla 3 analizamos los costes de implantación del plan de emergencia de seis presas de categoría A/B, considerando que dos de ellas tienen dos elementos de aviso acústico a la población, otras dos sólo un elemento y las dos restantes ninguno.

Tabla 3. Cuadro comparativo costes implantación centro de gestión de emergencia móvil más centro de control en la nube vs sala de emergencia más centro de control fijo. Elaboración propia.

	PROJ.1	PROJ.2	PROJ.3	PROJ.4	PROJ.5	PROJ.6	TOTAL
OPCIÓN SALA EMERGENCIA MOVIL A COMPARTIR PARA SEIS PRESAS							
Aviso acústico	35.000€	35.000€	15.000€	15.000€	0€	0€	
Sala móvil	15.000€	2.500€	2.500€	2.500€	2.500€	2.500€	
C.Control Nube	2.000€	2.000€	2.000€	2.000€	2.000€	2.000€	
TOTAL	52.000€	39.500€	19.500€	19.500€	4.500€	4.500€	139.500€
OPCIÓN SALA DE EMERGENCIA CONVENCIONAL							
Aviso acústico	35.000€	35.000€	15.000€	15.000€	0€	0€	
Sala emergencia	40.000€	40.000€	40.000€	40.000€	40.000€	40.000€	
Cent. Control	18.000€	3.500€	3.500€	3.500€	3.500€	3.500€	
TOTAL	93.000€	78.500€	58.500€	58.500€	43.500€	43.500€	375.500€

3.- Conclusiones

Como conclusiones de este trabajo pueden indicarse las siguientes:

1ª) Los elementos estructurales de regulación, como esta macro balsa, construida fuera del cauce pueden ser una solución para regular recursos de invierno siempre que se den técnicamente las condiciones técnicas para ello, como son:

- Que exista un elemento de transporte en invierno de los recursos hídricos al que se asocien para su llenado. En este caso el Canal de Tránsito Esca Carrión que es una infraestructura construida que no tiene uso en invierno, cuando hay que llenar la balsa.
- Que en su ubicación existan materiales con la impermeabilidad adecuada para poder desarrollar su construcción, lo que permite que la inversión, aunque alta, no sea imposible de acometer.

Este planteamiento no habría sido posible sin la existencia de una canal, con una inversión ya desarrollada, y en un lugar como la tierra de campos, con unas características del terreno que lo permiten.

2ª) A pesar de darse las condiciones que hagan posible su planteamiento, son actuaciones técnicamente complejas, más caras y con un objetivo limitado en cuanto a la capacidad que aportan, por lo que su planteamiento ha de quedar circunscrito a la imposibilidad de regular los recursos de otra manera, como puede ser la construcción de una presa en cauce, el recrecimiento de infraestructuras existentes. No obstante, en la valoración de su coste habría que incorporar como aspecto positivo el hecho de que a una infraestructura ya ejecutada y cuya inversión se ha realizado completamente, se le pueda dar una mayor uso y aprovechamiento, lo que sin duda mejora la ratio coste/capacidad de regulación.

3ª) A pesar de estas dificultades, si se dan las condiciones adecuadas, pueden ser la única solución para desarrollar zonas regables de no mucha superficie, vinculadas a las mismas en determinadas zonas, como la que se plantea en este trabajo. En este sentido son de enorme interés para conseguir que los efectos sociales y económicos que el regadío tiene sobre el

territorio rural se puedan extender por algunas de las zonas más afectadas por la despoblación y la falta de actividad.

4º) Desde el punto de vista de la seguridad, son elementos importantes que requieren de atenciones adecuadas, por lo que hay que implementar los elementos de auscultación y control suficientes para su funcionamiento sin problemas.

5º) Esta circunstancia hace que, como en el resto de los casos, el cumplimiento de las obligaciones exigidas por la normativa vigente en esta materia aconseje el apoyo público a los titulares de las mismas, las Comunidades de Regantes, para poder facilitarles el trabajo técnico y el cumplimiento de las obligaciones relacionadas con la seguridad y el funcionamiento de las infraestructuras. Un ejemplo de esta colaboración que está resultando exitoso es el modelo de convenio que tiene el Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León para esta materia.

6º) Para regulaciones de capacidad reducida es necesario buscar fórmulas para el cumplimiento de la normativa en materia de seguridad, que sin restar efectividad y garantizando en todo momento la seguridad que pretende la normativa, sean asumibles para los usuarios, y no incrementen de forma desproporcionada los costes. En este sentido, ideas asumidas por los órganos de control, como las salas de control móviles, el uso de medios compartidos para varias infraestructuras, son planteamientos que contribuyen de manera adecuada a lograr este objetivo.

GRUPO TEMAS FORO EMPRESARIAL DE INNOVACIÓN:

FORO EMPRESARIAL DE INNOVACIÓN PARA LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA

FEI-01-2020

TUBERÍAS RESISTENTES A LOS DESEQUILIBRIOS QUÍMICOS DEL AGUA. PVC ORIENTADO DURABILIDAD Y EFICIENCIA EN REDES DE TRANSPORTE EN DESALACIÓN. CASO CCRR. CUEVAS DEL ALMANZORA

*Rincón, Marcos (1) (P)**Muñoz, Jorge (2) (P)*¹Técnico Pre-Postventa, Molecor Tecnología, S.L., marcos.rincon@molecor.com²Jefe de Obra de obras hidráulicas, Talleres y Grúas Gonzalez S.L.,
jorge@talleresygruasgonzalez.com

Resumen

La planta desaladora de la **Comunidad de Regantes Cuevas de Almanzora**, está ubicada en el levante almeriense, muy próxima a la línea de costa, en la pedanía de Palomares, junto a la rambla/desembocadura del río Almanzora.

La **Instalación de Desalación de Aguas Salobres de Cuevas del Almanzora** se construyó para dotar de agua de calidad a los socios de la Comunidad de Regantes de Cuevas del Almanzora convirtiendo recursos hídricos inservibles hasta ese momento en aptos para el riego.

La instalación de desalación cuenta con 7 pozos de extracción de agua salobre, un depósito de regulación, bombas de baja presión y de limpieza de filtros, filtros de sílice, microfiltros de cartuchos de 5 micras, bombas de alta presión de hasta 30 bar, 5 bastidores de 5000 m³/día, equipo de limpieza química, bombas de impulsión a la red de Palomares de 100 m.c.a. y bombas de impulsión a la red de Cuevas del Almanzora de 180 m.c.a.

La solución adoptada es eficaz en la resolución de la problemática vigente en cuanto a dotar de suficiente garantía de abastecimiento y paliar el déficit actual en el regadío de la zona. Se analizaron para ello los aspectos técnicos, económicos y ambientales para adoptar la solución más viable que permitiera cumplir con dichos objetivos.

La tubería elegida para esta actuación debía ser resistente a las distintas salinidades del agua transportada. Gracias al diseño de la planta, el agua pura o desalinizada puede ser mezclada con agua de los pozos salinos, logrando así la salinidad requerida en cada momento por los regantes o usuarios. Es por ello, y por otras muchas ventajas relativas a su resistencia a la presión interna así como por sus propiedades mecánicas, por lo que finalmente se decidió optar por la instalación del PVC Orientado (PVC-O) en esta actuación.

Abstract

La desaladora de la Comunidad de Regantes Cuevas de Almanzora se construyó para dotar de agua de calidad a los socios de la Comunidad de Regantes de Cuevas del Almanzora convirtiendo recursos hídricos inservibles hasta ese momento en aptos para el riego. Se trata de una impulsión de aproximadamente 15 km que conecta la planta desaladora con una balsa

de acumulación desde la que riegan por gravedad gran parte de la zona regable. Se requiere de un sistema de distribución que permita trabajar tanto con aguas ácidas como alcalinas y la red de impulsión con Tuberías de PVC-O cumplía los requisitos del proyecto.

The Cuevas del Almanzora Brackish Water Desalination Facility was built to provide high quality water to members of the Cuevas de Almanzora Irrigation Community, by converting hitherto unusable water into water suitable for irrigation. The irrigation network, which has a length of approximately 15 km, connects the desalination plant with the storage pond, from where a large part of the land is irrigated. The distribution system had to be capable of operating with both acidic and alkaline water and the irrigation network implemented, featuring PVC-O pipes, fulfilled all project requirements.

1- Introducción

La Instalación de Desalación de Aguas Salobres de Cuevas del Almanzora se construyó para dotar de agua de calidad a los socios de la **Comunidad de Regantes de Cuevas del Almanzora** añadiendo recursos hídricos, inservibles hasta ese momento, con una conductividad de entre 10.000 y 22.000 μS , dependiendo de la temporada, mezcla de sulfatos, carbonatos, etc.

El agua salobre del acuífero inferior de la cuenca del río Almanzora es tratada convirtiéndola en agua apta para riego y finalmente se impulsa a los embalses de la comunidad de regantes, ubicados a más de 15 km de distancia, para desde allí, ser distribuidos por gravedad.

La instalación de desalación cuenta con 7 pozos de extracción de agua salobre, un depósito de regulación, bombas de baja presión y de limpieza de filtros, filtros de sílice, micro filtros de cartuchos de 5 micras, bombas de alta presión de hasta 30 bar, 5 bastidores de 5000 $\text{m}^3/\text{día}$, equipo de limpieza química, bombas de impulsión a la red de Palomares de 100 m.c.a. y bombas de impulsión a la red de Cuevas del Almanzora de 180 m.c.a., además de todos los sistemas de gestión eléctrica y control, trafos de media y baja tensión, equipos de compensación de energía reactiva, autómata de control, etc.

La comunidad de regantes impone calidad mínima de producción de los bastidores pero normalmente requiere una conductividad de entre 1.000 y 1.500 μS en agua distribuida a la red. Esta producción es denominada como producción de agua a la carta debido a que la desaladora suministra la calidad de agua necesaria para compensar el defecto o exceso de conductividad de agua distribuida. De esta manera, si la calidad de otras aguas de aporte es mala se suministra agua pura para corregir a la baja la conductividad general, si por el contrario la Comunidad de Regantes se está dotando del sistema general de distribución de agua desalada de Acamad, necesita incrementar la conductividad general, lo que se corrige incrementando la salinidad de la mezcla impulsada hasta obtener el valor requerido.

Para poder producir de esta manera se requiere un sistema de distribución que permita trabajar tanto con aguas ácidas como alcalinas y la solución de la red de distribución, hasta el punto de mezcla, así lo permite.

La ejecución de la obra y su posterior explotación corrió a cargo de la UTE Sadyt-Talleres y Grúas González S.L. Sadyt, empresa de tratamiento de aguas perteneciente al Grupo Sacyr, siendo la mayor especialidad de Sadyt la desalación, tanto en diseño y construcción como en operación, lo que la convierte en una de las 10 mayores empresas del mundo en este sector. Sadyt tiene una probada experiencia en el suministro con éxito de grandes plantas por todo el mundo, con más de 1,6 millones de $\text{m}^3/\text{día}$ instalados en plantas de ósmosis inversa y la

mayor planta del mundo de Electrodialisis reversible (200.000 m³/día), en países como España, Israel, Australia, Argelia, Chile, Túnez, etc., y expansión por todo el mundo.

2- Descripción de la actuación

La planta está dividida en 4 módulos de producción independientes de 5.000 m³/día más 2 de 2.500 m³/día, pero cuenta con el aporte y la producción común. Recibe la energía a 20 kV y dispone de 2 trafos de 2 MVA a 660 V y otro de servicios auxiliares de 630 kVA a 380 V.

Bombeo de agua bruta desde pozos

El agua salobre se extrae de una profundidad de 35 m y se acumula en el denominado depósito de agua bruta que actúa como regulador y da el tiempo de permanencia necesario para que actúen los químicos de pretratamiento en caso de que fuesen necesarios (Control de Cloro, PH, turbidez, etc.).

Filtración sobre sílex

Del depósito de pretratamiento se bombea el agua, por medio de las bombas de baja presión, hasta los filtros horizontales de sílex, donde se eliminan los sólidos en suspensión existentes en el agua.

Dosificaciones químicas (Reductor, Anti incrustante)

A continuación de la filtración de sílex se aportan una serie de productos químicos que regulan la calidad del agua y permiten incrementar la conversión.

Filtración de seguridad sobre cartuchos

Con el fin de garantizar la total limpieza del agua se hace pasar el agua por la filtración de cartuchos que retiene impurezas de tamaño superior a 5 micras.

Bombeo de alta presión

Para alcanzar la presión necesaria para que se produzca el fenómeno de la ósmosis inversa se debe presurizar el agua por medio de la bomba de alta presión. En función de la salinidad del agua y por medio de un variador de frecuencia, se regulará la presión de trabajo.

Líneas de producción de 5.000 m³/día

Una vez presurizada, el agua pasa a los denominados bastidores de osmosis inversa donde se hace pasar todo el caudal de agua a través de los tubos de membranas. Cada bastidor cuenta con 37 tubos en primera etapa y 17 en segunda y cada tubo cuenta con 6 membranas colocadas en serie. La primera etapa recibe el agua procedente de la bomba de alta presión, el 46% del agua pasa a través de la membrana como agua producto y el resto pasa a la siguiente etapa. Presurizando el agua de rechazo de primera etapa por medio de un recuperador de energía se alimenta la segunda etapa obteniendo de nuevo un 45% del agua con lo que se obtiene un total de un 70 a 72% del agua producto y un 28 a 30% de agua de rechazo que es vertida al mar por medio de un salmuero ducto hasta unos 600 m de la costa.

Equipo de limpieza y desplazamiento

Cada vez que se para la planta se debe realizar un desplazamiento del agua salobre existente dentro de los tubos de presión con agua pura. También se pueden realizar limpiezas químicas en caso de que se produzcan ensuciamientos por precipitación de sales, por crecimiento bacteriano u otros ensuciamientos.

Red de impulsión y distribución de 18 km con balsas de regulación 20.000 y 120.000 m³

El agua producto se almacena en un embalse construido a pie de planta desde donde se bombea a las diferentes redes de distribución. La comunidad de regantes demanda los

caudales producidos por la planta con una calidad que variará en función de sus necesidades, de manera que en la aspiración del bombeo se mezcla el agua producto con parte de agua bruta filtrada hasta alcanzar la calidad solicitada. El agua es conducida por medio de la red de distribución hasta los embalses de distribución ubicados a 6 y 15 Km hasta una cota de 150 m.c.a.



Figura 1. Planta impulsión.



Figura 2. Planta de bombeo a balsa.

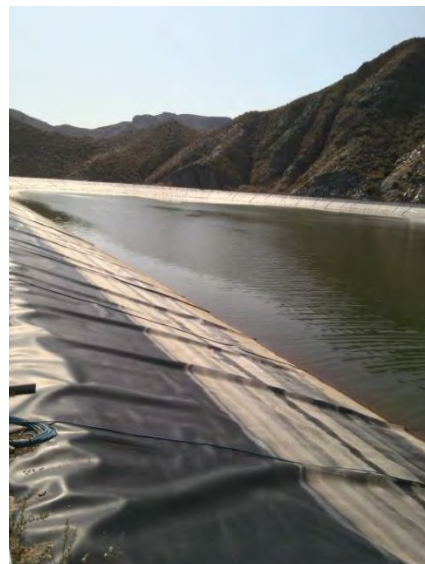


Figura 3. Balsa de acumulación.

Sistema de control centralizado mediante SCADA

En el control de todos los parámetros de funcionamiento, la gestión de históricos y alarmas, etc. se utiliza un sistema de control centralizado con un autómata programado. El carácter semiautomático del sistema reduce al mínimo la presencia de personal de operación permitiendo que el personal se dedique básicamente a mantenimiento y control.

Turbocharger: Recuperador de energía

El sistema de recuperación de energía instalado en plantas de Osmosis Inversa de dos etapas consiste en un equipo hidráulico turbina-bomba con eje solidario que aprovecha la presión de salida del rechazo de la planta para aumentar la presión entre etapas, aumentando la presión y la producción de la segunda etapa.

El aporte de agua a la primera etapa se produce (p.e.) a 20 bar, el 46% del agua pasa a producto perdiendo la presión en el proceso, pero el 54% restante sale por el rechazo de la primera etapa con una pérdida de carga de unos 2 bar, o sea a 18 bar. Como se ha extraído agua pura, la concentración de sales del rechazo aumenta, lo que demanda una mayor presión para que se pueda producir el fenómeno de la Osmosis Inversa. Para aumentar esta presión se coloca un turbocharger entre etapas que eleva de 18 bar a 30 la entrada de la segunda etapa. En ésta el 45% del agua pasa a producto y el resto sale por el rechazo. De esta manera tenemos el 30% del agua de aporte a 28 bar que se inyectan en la parte de turbina del turbocharger pasando de 28 bar a 0 bar y en la parte bomba la presión pasa de 18 a 30 bar. Es un simple intercambio de energía con un rendimiento cercano al 80%.

3- Red de Impulsión

Red de impulsión y distribución de 15 km

Se trata de una impulsión de aproximadamente 15 km que conecta la planta desaladora con una balsa de acumulación desde la que riegan por gravedad gran parte de la zona regable. La tubería discurre, desde la planta al embalse, por el cauce del propio río Almanzora, hasta abandonar dicho cauce a la altura del canal de remo, en dirección a la balsa de acumulación. Se optó por un diámetro 500 mm de diferentes timbrajes: PN25, PN20 bar y finalmente PN16 bar en el tramo final de conexión al depósito.

Tabla 1. Tubería TOM® de PVC-O instalada.

Diámetro	500 mm
Timbraje	PN 25, PN20 y PN16
Caudal a derivar	300 l/s
Diferencia de cotas	130,6 m
Longitud de la conducción	14.223,05 m
Altura manométrica total	206,84 m

El caudal impulsado es de 300 l/s, la diferencia de cotas entre la planta y el embalse es de 130,6 m siendo la altura manométrica total de 206,84 m.

Se requiere de un sistema de distribución que permita trabajar tanto con aguas ácidas como alcalinas. La tubería elegida para esta actuación debía ser resistente a la variabilidad de desequilibrios químicos del agua transportada. Gracias al diseño de la planta, el agua pura o desalinizada puede ser mezclada con agua de los pozos salinos, logrando así fluidos compatibles en cada momento con los requerimientos de los regantes o usuarios.

El PVC Orientado es **inmune a la corrosión y a las sustancias químicas presentes en la naturaleza**. El PVC Orientado es, por tanto, inerte a la degradación. Todo ello hace a la tubería especialmente indicada para la instalación de redes en terrenos agresivos, en presencia de corrientes vagabundas que aceleran la corrosión en otras tuberías tradicionales.

El proyecto original contempló esta actuación en poliéster (PRFV), pero los continuos problemas con este material en fase de explotación motivaron la decisión de sustituir este material por PVC Orientado (PVC-O).



Figura 4. Tubería TOM® de PVC-O DN500 mm acopiada a lo largo de la traza.



Figura 5. Plano del trazado de la impulsión

La opción del PVC Orientado (PVC-O) mejoraba los resultados hidráulicos de otros materiales (Velocidad-Pérdida de carga), como el PRFV, el acero o la fundición dúctil.

Tabla 2. Valores extraídos del Manual Técnico del Canal de Isabel II.

Material	Prandtl-Colebrook		Hazen-Williams		Manning	
	k/mm		C		N	
	nueva	en servicio	nueva	en servicio	nueva	en servicio
PVC-O	0.003	0.060	150	140	0.007	0.009
Fundición	0.100	0.200	130	100	0.012	0.017
Acero	0.030	0.100	120	90	0.008	0.011
Polietileno	0.005	0.030	150	140	0.007	0.009
PRFV	0.030	0.060	110	100	0.009	0.010
Hormigón	0.300	3.000	140	110	0.013	0.017

Así mismo, la **baja celeridad** del PVC-O reducía el valor de las sobrepresiones y depresiones originadas por paradas repentinas en la estación de bombeo.

Tabla 3. Valor de las celeridades de distintos materiales.

	$E \text{ (kg/m}^2\text{)}$	$e \text{ (mm)}$	$a \text{ (m/s)}$
Fundición (k9)	170×10^8	9	1095
Acero	210×10^8	5	1011
PRFV	20×10^8	7	492
PVC-U (PN16)	3×10^8	29,7	424
Polietileno (PN16)	1×10^8	45,4	320
TOM® 500 PVC-O	4×10^8	13	318

El PVC es esencialmente un polímero amorfo, en el que las moléculas se encuentran dispuestas en direcciones aleatorias. Sin embargo, bajo unas determinadas condiciones de presión, temperatura y velocidad, y mediante un estiramiento del material, es posible ordenar las moléculas del polímero en la misma dirección en la que se ha producido dicho estiramiento.

El proceso de Orientación Molecular mejora de forma espectacular las propiedades físicas y mecánicas del PVC, y le otorga unas características excepcionales, sin alterar las ventajas y propiedades químicas del polímero original. Se consigue así un plástico con unas insuperables cualidades de resistencia a la tracción y a la fatiga, flexibilidad y resistencia al impacto.

El proceso de fabricación de la tubería TOM® se realiza de forma continua y absolutamente automática, en lugar del tradicional sistema discontinuo, lo que proporciona un mayor control y regularidad al producto.

Los materiales pierden propiedades mecánicas al estar sometidos durante largo tiempo a esfuerzos. Esta característica definida como “fluencia” se manifiesta en mucho menor grado en el PVC-O 500, que en los plásticos convencionales, lo que conlleva unas mejores propiedades a largo plazo. Teniendo en cuenta que el PVC-O tiene una resistencia a la fatiga excepcional y una resistencia química excelente, podríamos hablar de una tubería capaz de soportar las presiones de trabajo durante más de 100 años.

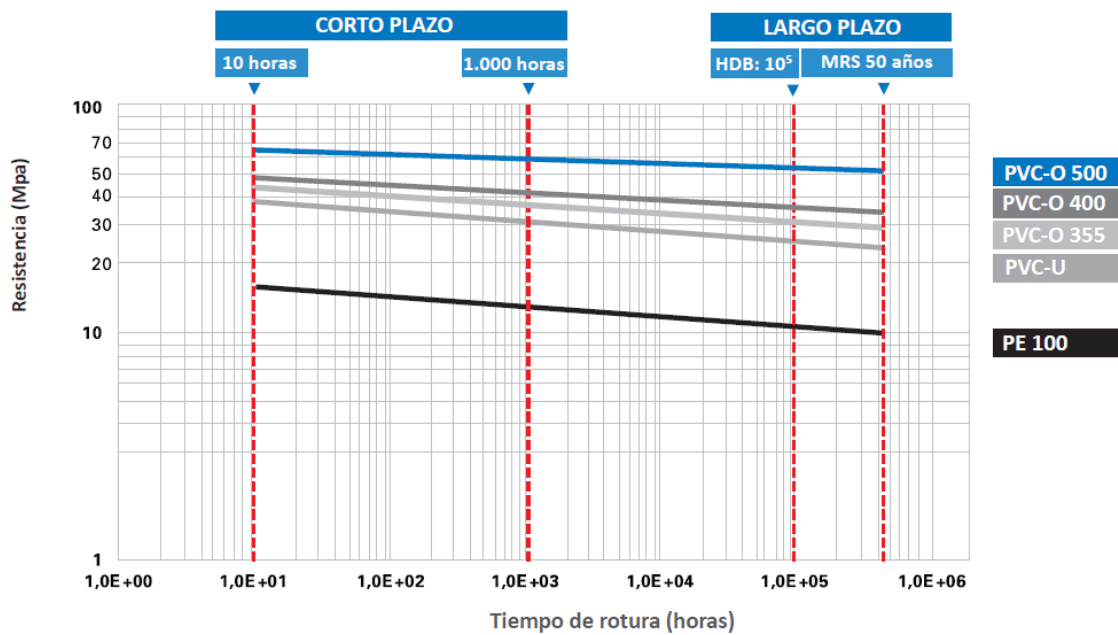


Figura 6. Curva de regresión de resistencia hidrostática del PVC-O TOM® 500.

La norma **UNE-ISO 16422:2015** (actualmente sustituida por la norma **UNE-EN 17176:2019**) contempla diferentes clases de material de PVC-O clasificados según su MRS (resistencia mínima requerida), debido a que la Orientación Molecular se puede lograr en mayor o menor medida dependiendo del proceso de fabricación.

La tubería TOM® de PVC-O se fabrica solamente según la clase más alta (PVC-O 500), ya que al ser la que tiene un grado de orientación más elevado es la que garantiza un mejor comportamiento mecánico. De esa forma, la tubería TOM® dispone en su mayor grado de las ventajas que el PVC-O presenta sobre otros materiales.

Tabla 4. Propiedades mecánicas.

TUBERÍA TOM® PVC-O Clase 500				
	PN12,5	PN16	PN20	PN25
Clase de material	500	500	500	500
MRS (MPa)	50,0	50,0	50,0	50,0
Presión nominal (bar)	12,5	16,0	20,0	25,0
Presión rotura a 50 años (bar) ⁽¹⁾	17,5	22,4	28,0	35,0
Presión rotura a 10 horas (bar) ⁽¹⁾	23,1	28,9	36,7	48,1
Presión de prueba máxima en obra (bar) ⁽²⁾	17,5	21,0	25,0	30,0
Rigidez circunferencial (kN/m²) ⁽³⁾	5	7	11	20
Color ⁽⁴⁾	azul/ morado	azul/ morado	azul/ morado	azul/ morado

⁽¹⁾ A temperatura de 20 °C.

⁽²⁾ Según norma UNE-EN 805:2000 con golpe de ariete estimado.

⁽³⁾ Rigidez media en el tubo según tolerancias establecidas.

⁽⁴⁾ Disponible en color azul (abastecimiento), morado (reutilización) y blanco (resistente a los rayos UV). Otros colores consultar.

La tubería TOM® presenta una gran resistencia ante los golpes. Se reducen así las roturas durante la instalación o las pruebas en obras producidas por caídas e impactos de piedras.

Además, la Orientación Molecular impide la propagación de grietas y arañazos y elimina el riesgo de fisuras rápidas, gracias a la estructura laminar del tubo. El resultado es un espectacular aumento de la vida útil del producto.

Una de las propiedades del PVC-O que motivó su elección para esta obra fue su **resistencia química**. La tubería elegida debía ser resistente a las distintas salinidades del agua transportada. Gracias al diseño de la planta, el agua pura o desalinizada puede ser mezclada con agua de los pozos, logrando así la salinidad requerida en cada momento por los regantes o usuarios.

El PVC Orientado es **inmune a la corrosión y a las sustancias químicas presentes en la naturaleza**. Además, no requiere ningún tipo de protección o recubrimiento especial, lo que repercute en un ahorro de costes.

La curva tensión-deformación del PVC-O cambia drásticamente respecto al comportamiento de los plásticos convencionales, resultando una curva característica de los metales. La transformación completa de las propiedades mecánicas del PVC-O respecto al PVC convencional solamente se logra en la clase más alta PVC-O 500, como es la de la tubería TOM®.

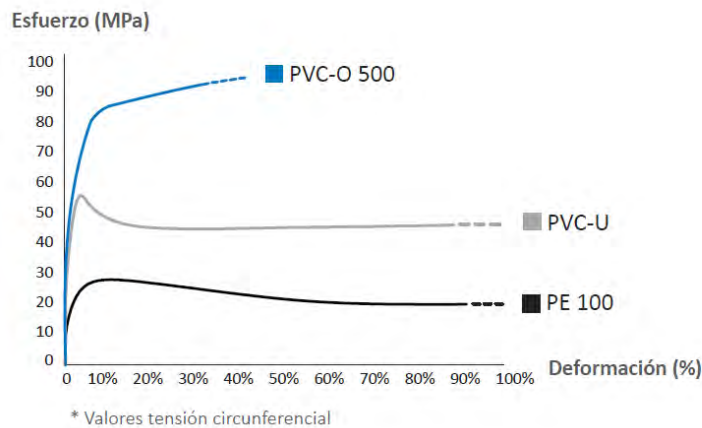


Figura 7. Curva de esfuerzo-deformación

El material de la excavación era un material aluvial, apropiado para el apoyo de la tubería y relleno de la zanja, se realizó el cribado del mismo para el tapado de la tubería, pero no se precisó de material de préstamo. Se trata de apoyar correctamente la totalidad de la longitud de la tubería, prestando especial atención a la zona de la copa. La única manera de lograr esto, es mediante el uso de materiales granulares en la base de la zanja, ya sean de la propia excavación o de préstamo.

La tubería no soportará ninguna carga de tráfico a lo largo de todo su trazado por lo que, tampoco se requirió compactación alguna en los rellenos.

El cribado del material de relleno se hizo mediante medios mecánicos.



Figura 8. Detalle instalación Tubería TOM® de PVC-O DN500 mm

La instalación de la tubería se realizó mediante el uso de eslingas y la propia máquina retroexcavadora. Este modo de instalación permite el ensamblaje suave y correcto de las tuberías.

En las tuberías TOM® de Molecor, la **estanqueidad del sistema** se logra gracias a la junta. La junta está compuesta por un anillo de Polipropileno y un labio de caucho sintético que hacen que forme integral del tubo, impidiendo que se desplace o vuelque de su alojamiento o que sea arrollada en el montaje.

4- Conclusiones

El PVC-O se consolida como la mejor solución ante los requerimientos técnicos de la propia explotación por diferentes motivos como:

- Se precisaba de una tubería con una excelente resistencia a los desequilibrios químicos del agua transportada.
- Se optó por un material con una baja celeridad, para minimizar las sobrepresiones producidas por paradas súbitas y no alcanzar valores muy altos. La baja celeridad del PVC-O reducía el valor de las sobrepresiones y depresiones originadas por paradas repentinas en la estación de bombeo.
- Ante los problemas sufridos con el material anteriormente instalado, se optó por un material fiable con una excelente durabilidad en el tiempo, dadas sus óptimas condiciones de diseño y resistencia hidrostática.
- Su excelente comportamiento mecánico frente a impactos, unido a su ligereza y fácil instalación, influyeron también notoriamente en la decisión del material a instalar.

En una zona en la que el agua está tan valorada, económica y culturalmente, se debe apostar por soluciones que minimicen las pérdidas de tan importante activo, ya no sólo a nivel de elección de tuberías.

Esta actuación, constituye un gran ejemplo, de cómo ante limitados recursos hídricos, el ser humano busca alternativas para sacar partido de la situación existente, en este caso a través de la desalación.

FEI-02-2020

MÉTODO LIMPIABALSAS® PARA EXTRACCIÓN DE SEDIMENTOS EN BALSAS DE AGUA BRUTA

Guillen Torres J. (1)

¹ Dr. Ingeniero Agrónomo, profesor titular de la Universidad de Zaragoza. Expresidente Comunidad de Regantes Lasesa. Vicepresidente de la Asociación Española de Dirección e Ingeniería de Proyectos. Certificado Nivel B como Director de Proyectos del sistema 4LC de IPMA. E-mail: jguitor@unizar.es

Resumen

El **Método Limpiabalsas®** toma el nombre de la mercantil de idéntica nominación, y viene a resolver un problema hasta ahora difícil, oscuro (no precisamente por el color del producto recién extraído), y gravoso, como es la extracción de sedimentos del fondo de medianas y grandes balsas de agua bruta; sin desembalsarlas, sin dañar la infraestructura, de forma mecanizada, y con amplias garantías. Todo ello aporta una importante **creación de valor para el concesionario del agua**; asegurando una estabilidad de precios, con los que es posible prever el gasto corriente por este concepto en el largo plazo, dentro de un sector primario, donde la rentabilidad solo se logra céntimo a céntimo, y con mucho esfuerzo.

1. Evolución de la metodología en la extracción de sedimentos

En las balsas impermeabilizadas con arcillas, o con PVC, **hasta finales del siglo XX**, la extracción de sedimentos solía hacerse en el primer caso cuando la balsa se colmataba; y en el segundo también, o cuando pasados unos 10-15 años se cambiaba la lámina. Para ello se utilizaba **maquinaria de obras públicas**, refinando la subbase de fondo y taludes, reponiendo drenajes (en caso de impermeabilización plástica) y colocando nueva geomembrana.

A **finales del siglo XX**, se generalizó el uso de geomembranas de PEAD y en contados casos de caucho-butilo (por su mayor exigencia de refino de la subbase, dificultad de instalación correcta, y de explotación, para garantizar su vida). Comenzaron a limpiarse periódicamente los sedimentos del fondo. En balsas pequeñas, desembalsando y retirándolo a mano en seco. En otras mayores, con poco espesor y sin plantas acuáticas, empujando los sedimentos húmedos hasta una esquina de la balsa para ser extraídos con una chupona, o directamente vertidos por el desagüe de fondo (Fig. 1). Después, en ambos casos, debían lavar la lámina para encontrar las roturas que se habían producido durante la limpieza, y proceder a su reparación.

Figura 1. Detalle extracción de sedimentos empujándolos manualmente hasta desagüe fondo.



A finales de la **primera década de este siglo XXI**, aparecen las primeras técnicas de extracción sin desembalsar, si bien durante 10 años limitadas a balsas con poco espesor de sedimentos, sin plantas acuáticas, trabajando con nimia cota de agua, y en balsas no grandes, por las limitaciones inherentes a la concepción de las propias máquinas; y precio global más caro, respecto a los otros métodos antes citados, e igual de agresivos para la lámina.



Figura 2. Detalle tractor equipado con ruedas especiales para acarrear los sedimentos a una esquina de la balsa

Durante todos estos periodos, en aquellos casos que se han extraído los sedimentos, con los procedimientos existentes (Fig. 2 y 3), los daños a las láminas han sido significativos. Quizá por ello, todo propietario u operador se siente resignado a ese mal menor. Pero el problema no es lo que ha quedado a la vista, y ya reparado, si no lo que se ha envejecido la geomembrana, acortando drásticamente su vida útil.



Figura 3. Detalle tractor a la espera de acarrear sedimento y operarios con lanzas de agua, bajándolo de la parte inferior de los taludes

En estos últimos años, la sensibilidad ambiental, y, paralelamente, la prevención profesional a cometer infracciones contra el Medio Natural, unido a una mayor y necesaria protección a los trabajadores, así como a la asumida elevación de los costes de la mano de obra menos cualificada (de un 29%, solo en 13 meses), sin que los precios del producto obtenido lo hayan podido repercutir, parece apuntar a que **la limpieza solo es viable mecánicamente, y con un método que no rompa, ni envejezca prematuramente la lámina.**

Dentro de esas actuaciones de limpieza, **cuando el espesor sobrepasa los 20-30 cm, solo se practica por dos vías, una que es la de realizarlo sin desembalsar**, tal como se presenta en el capítulo siguiente, **o hacerlo con maquinaria de obras públicas**, llegando a ver actuaciones como la de la figura 4, en que se ha abierto un pasillo en el dique o banqueta o de contención.



Figura 4. Detalle limpieza de balsa con portillo en el dique, y maquinaria de obras públicas trabajando, en julio de 2018.

2. Evolución de la técnica de extracción de sedimentos sin desembalsar

En 2006 aparece una comunicación, en un congreso internacional de proyectos de ingeniería, con las primeras ideas para construir un robot, que fuera capaz de extraer el sedimento de las balsas sin desembalsarlas, pues ya existían indicios de que la geomembrana de PEAD podría dar un magnífico resultado, como así está ocurriendo, siempre que no se la someta a esfuerzos inadmisibles que la envejezcan prematuramente.



Figura 5. Detalle sedimentos en balsa vacía, y obra de toma recrecida para aplazar durante unos años la colmatación.

Esa idea fue desarrollada comercialmente por la emblemática empresa sueca **Weda**, con su serie de máquinas YT-800 autotraccionadas (Fig. 6). El éxito técnico de Weda fue sustancial, pero económicamente limitado, al plantear el negocio como fabricación de equipos en serie para su comercialización; pues sus robots de 6.5 kWe, eran muy eficientes en balsas pequeñas, con sedimentos pulverulentos y sin plantas acuáticas. Hoy continúa sirviendo al mercado internacional con la misma serie y potencias algo mayores, que le permiten abarcar un mayor número de infraestructuras.



Figura 6. Robot Weda YT-840 que forma parte del equipamiento para pequeñas actuaciones de Limpiabalsas®

En aquellas fechas de primeros de siglo, también fue desarrollada la misma idea (Fig. 7) por la empresa española **Anortec**, mercantil tecnológica de referencia en su rubro, dentro del Ministerio de Defensa. Su éxito fue notable, al ofrecer tanto el servicio como la venta de su robot submarino; aun cuando requería trabajar bajando la cota de agua a unos dos metros, no podía con balsas grandes, y tenía graves dificultades cuando aparecían plantas acuáticas. No obstante, unos años después desistió del proyecto, por la falta de interesados en prestar el servicio.



Figura 7. Robot submarino comercializado por Anortec, y también prestando el servicio completo, hasta finales de 2008.

Uno de los equipos de Anortec (Fig. 8) fue adquirido por una **Comunidad General de Riegos**, que ofrece aún hoy los servicios, con las limitaciones y condicionantes citados, a algunas de sus propias comunidades de regantes de base. Factura por horas de trabajo, a precio subsidiado sin repercutir amortización, y con independencia de su eficacia y eficiencia.



Figura 8. Robot submarino Anortec, que continúa en servicio

En 2013, la empresa **Embex Empresarial**, con una importante ayuda del Gobierno Vasco, desarrolló y puso en el mercado un robot submarino auto-traccionado, de unas 3.5 Tm, que se manejaba desde superficie y que publicitaba un desplazamiento de unos 40 m/min (Fig. 9). No pudo comercializarse, debido a que desde las primeras pruebas (gratuitas) siempre rompía las láminas impermeables. Luego la máquina pasó a otra mercantil, que tampoco pudo mejorarla; intentó hacer alguna actuación hasta 2016, pero los resultados le obligaron a cerrar.



Figura 9. Desarrollo de Embex Empresarial, que nunca cumplió sus expectativas de negocio.

A finales de 2014 **Limpiabalsas®** inició su actividad mercantil, recogiendo el conocimiento, necesidades de los propietarios, experiencias de algunos investigadores, y el análisis de los descalabros técnicos acaecidos hasta entonces. Lo enfocó como la **prestación de un servicio** (Fig. 10), nunca como fabricación de equipos; en un entorno de concesionarios de agua que no creía, y menos interiorizaba, que las láminas de PEAD debían durar no menos de 50 años (hoy los principales fabricantes hablan ya de 100 años de vida útil, si se montan y mantienen adecuadamente)

Figura 10. Equipo Duplo, desarrollado por Limpiabalsas®, con una potencia de 40 kWe



En paralelo, durante esta segunda década del siglo XXI, no han faltado ingenios esporádicos de distintas compañías; para, desde plataformas flotantes tipo **Seablock** o asimiladas (Fig. 11), extraer sedimentos, utilizando técnicas de la obra civil, dragado, limpieza de dársenas, e incluso de arqueología científica. Eso sí, para balsas pequeñas, con una baja cota de agua y teniendo que terminar la mayor parte de las veces desembalsando para conseguir terminarlas.

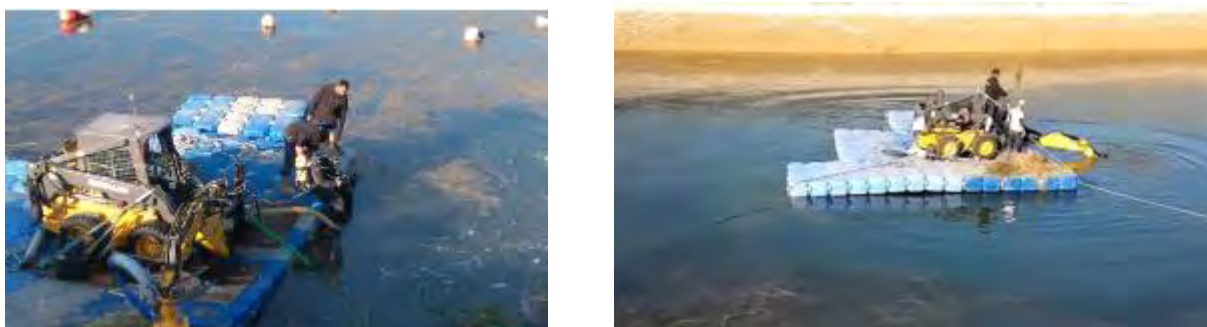


Figura 11. Detalle de un desarrollo ingenieril para extracción singular de sedimentos y plantas acuáticas en una pequeña balsa, desde una plataforma flotante tipo Seablock, en 2018

3. Soluciones aportadas por el Método Limpiabalsas®

El **Método Limpiabalsas®** da solución a la extracción de sedimentos, respetando una serie de **principios**, que se consideran básicos e imprescindibles, y que lo distinguen de todos los que existieron (o existen), puesto que, ninguno ha podido ofrecer, y después cumplir, la siguiente panoplia de **requerimientos básicos**:

- Cumplimiento estricto de la normativa ambiental y laboral vigente
- No interacción con la operación cotidiana de la balsa (se realiza sin desembalsar)
- Presiones verticales sobre lámina nunca superiores al de una bota de operario.
- Ningún esfuerzo horizontal sobre lámina impermeable (no tracción con ruedas motrices)
- No arrastre, ni acumulación del sedimento, a una parte de la balsa
- No contaminación del vaso, ni del agua, con hidrocarburos, plantas o fauna exógena
- Procedimiento altamente tecnificado, poco dependiente de costes laborales
- Aplicabilidad a grandes balsas (desde 1 hasta 17 H^a)
- Servicio completo, sin necesidad de aportaciones de terceros, ni de la Propiedad
- Precio unitario competitivo, frente a otros Métodos que no cumplen estos principios
- Mantenimiento de precios unitarios fijos, para contratos quinquenales.

Para lograrlo, se han configurado los equipos con una **concepción de proceso** simple, en abstracto (Fig. 12 en pág. Siguiende); pero, robusta y compleja en su implementación, para garantizar así no solo eficacia y eficiencia, sino también una elevada disponibilidad, en las duras condiciones de trabajo a que son sometidos, y que puede resumirse como sigue:

- Central de energía propia, con autonomía para una semana.
- Robots submarinos sobre oruga protegida, o sobre ruedas giratorias locas, sin tracción
- Cepillos que fragmentan y mezclan los sedimentos con agua, sin llegar a tocar la lámina
- Sistema que trocea las plantas acuáticas, con tallos no leñosos, y después las succiona
- Línea de absorción homogénea, distribuida a la anchura del robot.
- Impulsión reforzada para cubrir distancias significativas, desde extracción hasta descarga
- Sacas de hasta 125 m³ de tejido filtrante, para retención de los áridos más gruesos.
- Control y supervisión, con CCTV y accesibilidad a todos los componentes de potencia



Figura 12. Arriba esquema Método Limpiabalsas®, con robot submarino, traccionado desde pista perimetral; sobre él, armario de distribución de potencia, control y protecciones. En esquina derecha carpa de control, y al fondo a la derecha, sacas recogida de áridos gruesos. **A la derecha,** foto con sacas filtrantes



4. Confianza depositada en el Método Limpiabalsas®

La confianza en los resultados del Método Limpiabalsas® se evidencia en la **plasmación contractual de una serie de garantías, técnicas y estándares de calidad**, además de las administrativo-jurídicas tipo de cualquier contrato de servicios, en concreto,

- Garantía de **cumplimiento normativas básicas**.
- Garantía de **exoneración de responsabilidad al Cliente**.
- Garantía de **no incremento turbidez, ni obturación conductos toma y desagüe**
- Garantía de **no entorpecer el uso cotidiano** de la balsa.
- Garantía de **eficiencia** (no despilfarro).
- Garantía de **sostenibilidad de la biodiversidad faunística** existente.
- Garantía de **mantenimiento de la biodiversidad en las acequias de desagüe**
- Garantía de **no contaminación por residuos exógenos**.
- Garantía de **no introducción de fauna o flora exógena**.
- Garantía de **no congelación ni efecto “vela”** de la lámina plástica.

- Garantía de **no perforación de lámina plástica**.
- Garantía de **no sometimiento a presiones ascendentes** a la lámina plástica.
- Garantía de **operatividad**.
- Garantía de **trazabilidad**.
- Garantía de las **reparaciones realizadas**.
- Garantía de **continuidad**
- Garantía de **cumplimiento de plazos**
- Garantía de **mejor precio**
- Garantía de **transparencia y precio completo** (ausencia de otros costes)
- Garantía de **desistimiento** del contrato (5 días desde la fecha de la firma)
- Garantía de **calidad de acabado** (6 meses mínimo, y mayor plazo en plurianuales)

La **verificación externa** del cumplimiento de esas garantías se pone de manifiesto en que la prima del **seguro RC** suscrito por Limpiabalsas®, desde el año de su constitución, y que cubre todas sus actuaciones de más de un lustro, nunca ha tenido que atender siniestro alguno, ni tampoco ha recibido reclamación de tercero perjudicado. Y así lo certifica la aseguradora anualmente por escrito.

Respecto a la **solvencia técnica** de los profesionales, en cuanto a su propia **autoprotección**, queda evidenciado en que, incluso trabajando a turnos, desde la creación de la empresa no se ha perdido ni una sola hora por accidente laboral. Esta circunstancia es certificada anualmente por la Mutua patronal.

En cuanto al **respeto ambiental**, desde el inicio del servicio en 2014 para todo el territorio español, en ninguna actuación, se ha abierto expediente administrativo alguno; siendo habituales las visitas e inspecciones de la guardería de los gobiernos autónomos, del Seprona, y de los organismos de cuenca, con sus tomas de datos y muestras.

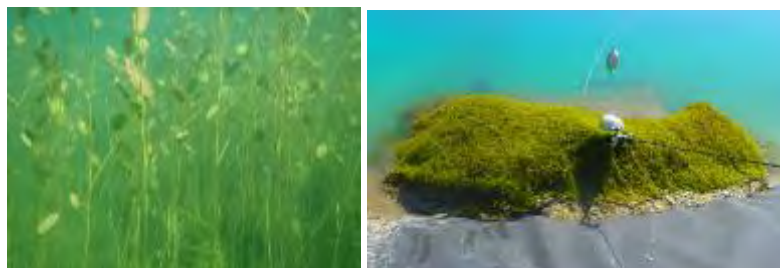
5. Oferta tipo de extracción de sedimentos y plantas acuáticas de Limpiabalsas®

La oferta estándar de Limpiabalsas® se formaliza, desde el primer contacto, en un **borrador de contrato**, negociable en cuanto a sus condiciones. En él se consideran todas las casuísticas que han acaecido desde 2014, incluyendo la definición detallada de la actuación ofertada, todos sus condicionantes, y un precio total estimado, a resultados de aplicar en la certificación final las cantidades del trabajo realmente ejecutado, a precios unitarios fijos. Las distintas partidas, se identifican de la siguiente forma:

PA	Estudio técnico de la actuación, para cuantificación y solicitud autorizaciones
PA	Gestión de permisos a la Confederación y a la Comunidad Autónoma
PA	Medición espesor de sedimentos y analítica de aguas
PA	Desplazamiento e instalaciones de apoyo local
m2	Preparación del terreno para ubicación de sedimentos y/o accesos
m3	Extracción de sedimentos del fondo a perímetro, y rebaje limos hasta 1-3 cm
Ud	Suplemento extracción de sedimentos, por cada subcapa superior a 20 cm
m3	Extracción barro de laterales (talud) y/o Retirada vegetación subacuática del fondo
m3	Barrido sedimentos del fondo hasta 1 cm, y Extracción a perímetro exterior
m3	Almacenamiento de sedimentos, filtraje y desecado natural
m3	Retirada sedimentos desecados hasta ubicación permanente
PA	Vídeo fondo, y geo-referencia de elementos
PA	Establecimiento de fechas concretas de ejecución (coste o abono)
Ud	Reparación provisional de desgarres en lámina preexistentes, hasta 50 cm/ud

PA Otras actuaciones.

Figura 13. Fotogramas con plantas acuáticas vivas (izda.), y acarreadas a superficie (dcha.)



6. Precio del Método Limpiabalsas®

Como se ha indicado antes, el servicios se ofrece a precios unitarios y a resultados de lo realmente ejecutado, por lo que, el precio final o **promedio del m3 extraído** es función de: (i) los ítems que se contratan, (ii) del emplazamiento de la balsa, (iii) de su forma constructiva, (iv) del sobre-espesor de sedimentos, a partir de 20 cm, (v) de la presencia de plantas acuáticas vivas o muertas, (vi) de los elementos extraños que aparezcan en el fondo, y (vii) de que se hubiera, o no, dejado resecar los sedimentos por un desembalse previo.

En base a ello, para balsas de más de 0.8 Hª de superficie, el **precio promedio global** de la actuación suele estar comprendido entre 1 y 2 c€/ kg de sedimento húmedo extraído.

7. Confidencialidad de las actuaciones realizadas

Históricamente todos los **clientes** de Limpiabalsas® han **exigido confidencialidad** acerca de la actuación a realizar en sus instalaciones, sin perjuicio de que Limpiabalsas® pueda tomar algunas fotos donde no se identifique nítidamente la Propiedad o el emplazamiento. Así se ha interiorizado y se recoge en contrato con un carácter de reciprocidad.

Este planteamiento parece lógico y razonable, debido a varias razones: (i) que se trata de mercados del sector primario muy competitivos, y consideran esta operativa como estratégica, desde un punto de vista de aportarles valor sin merma de tiempo; (ii) Por otro lado, escasas veces la balsa tiene los parámetros constructivos que estimaba el propietario u operador; en general los taludes suelen tener más pendiente y la profundidad menor, lo que hace que la superficie del fondo también sea algo mayor; (iii) En cuanto al espesor de sedimentos, cuando se mide, se reconoce lo que sale, sin embargo para el contrato suelen facilitar un espesor menor; y (iv) por último, en el fondo de las balsas se ha encontrado de todo lo imaginable (excepto cadáveres humanos), y luego nadie explica cómo pudo llegar hasta ese lugar.

Por otro lado, Limpiabalsas® también cuida la **difusión de su saber hacer**; de forma que, según aparece en la declaración RSC de su Web, facilita gratuitamente segundas opiniones sobre temas relacionados con la operación y mantenimiento de balsas, participa en foros divulgativos sobre temas de su rubro, explica muy bien “qué hace”, aunque se reserva el “como lo logra”; aspecto que se ha intentado respetar en esta comunicación, con el fin de salvaguardar los derechos y secretos de su propiedad industrial.

8. Plazos para realizar la extracción de sedimentos con el Método Limpiabalsas®.

En el caso de balsas para agua de boca, que deben limpiarse inmediatamente por exigencias sanitarias, la extracción se inicia no más tarde de tres meses de la fecha de contrato; explicando la circunstancia y logrando la aquiescencia previa de todos los interlocutores con fechas programadas de limpieza.

		Planning de actuación por semanas											
Cap.	Actividad	0	1	2	n	n+10	n+12	Ejec.	Ejec.				n+40
Preparación	a Firma de contrato	xxxx											
	b Presentación de avales		xxxx										
	c Facturación primer hito a la contratación		xxxx										
	d Lanzamiento del contrato		xxxx										
	e Aprobación planes de ejecución			xxxx									
	f Solicitud autorizaciones administrativas			xxxx									
	g Aprobación Plan de Seguridad y Salud Laboral			xxxx									
	h Aprobación Plan de Calidad			xxxx									
	i Solicitud apertura Centro de Trabajo			xxxx									
	j Comunicación fechas ejecución del trabajo				xxxx	xxxx							
Ejecución	1 Estudio técnico actuación para cuantificación y solicitud autorizaciones	xxxx											
	2 Gestión de permisos a la Confederación y Comunidad Autónoma				xxx								
	3 Memoria tras visitas a Servicios comunidad autónoma				xxx								
	4 Desplazamiento e instalaciones de apoyo local												
	5 Preparación terreno para ubicación sedimentos y/o accesos												
	6 Extracción sedimentos fondo a perímetro y rebaje limos hasta 1-3 cm												
	7 Suplemento extrac sedimentos por cada subcapa superior a 20 cm												
	8 Extracción barro laterales y/o Retirada vegetación subacuática fondo												
	9 Barrido sedimentos del fondo hasta 1 cm y Extracción a perímetro ext												
	10 Almacenamiento sedimentos, filtraje y desecado natural												
	11 Retirada sedimentos desecados hasta ubicación permanente												
	12 Video fondo y geo-referencia elementos												
	13 Establecimiento de fechas concretas de ejecución (coste o abono)				xxx								
	14 Reparación provisional desgarras en lámina, hasta 50 cm												
	15 Otras actuaciones.												
Recepción	k Desmontaje campamento y limpieza												
	l Documentación trazabilidad trabajo realizado												
	m Recepción												
	n Facturación liquidación												
	o Recuperación avales												
	p Garantía												

Figura 14. Cronograma tipo de una actuación

En los demás casos, se trata de una operación, que, al **no condicionar la operación cotidiana del uso del agua concesionada**, no suele ser perentoria una determinada fecha; salvo en aquellos casos de propietarios u operadores que han resultado desilusionados e insatisfechos anteriormente, con otros métodos, y ahora quieren ver y palpar directamente el resultado, para lo que necesitan vaciar la balsa. En todos estos casos el plazo de inicio de ejecución suele ser antes de que termine el año hidráulico entrante (unos 18 meses)

9. Resultados, capacidades y limitaciones del Método Limpiabalsas®

En cuanto al **éxito** del Método, a la vista está. Se trata del **único método del mercado actual**, capaz de realizar la extracción de sedimentos y plantas acuáticas, sin desembalsar y con ese amplio porfolio de garantías concretas y transcritas a contrato.

Las **capacidades probadas** son la muestra de actuaciones durante 5 años en balsas de hasta 17 H^a de superficie impermeabilizada, y sedimentos de hasta algo más de 2 m de espesor, siendo varias las que sobrepasaban los 0.6 m. La verificación de no daños se hace como prueba objetiva adicional con el control diario de las arquetas de drenaje (Fig. 15).

Figura 15. Detalle arqueta concentradora de 6 líneas de drenes sectoriales que cubren la impermeabilización de una balsa



El fluido extraído estándar (Fig. 16) (varía con el tamaño de balsa y tipo de sedimento); contiene alrededor del 40% en volumen de sedimento húmedo en reposo y el 60% de agua. La capacidad de extracción en condiciones óptimas es de unos 90 m³/h de fluido, de los que 36 m³ serían de sedimentos en reposo antes de iniciar la operación.

Figura 16. Detalle muestra de fluido extraído sedimentado y gráfica con el estándar del proceso de extracción de sedimentos



En cuanto a las **limitaciones de carácter económico**, se manifiestan en balsas de menos de 0.5 H^a, y también para “*balsas de autor*”, entendiéndose aquellas que se han construido con unos principios o parámetros alejados de los estándares y comúnmente aceptados.

Las **limitaciones de carácter técnico** se dan exclusivamente en las “*balsas de autor*”, en las que, en el mejor de los casos, quizá se haya podido ahorrar algo en la inversión; pero que si se analiza desde un punto de vista de Valor actual neto (VAN) de inversión + coste explotación, a solo 30 años y con una tasa de descuento de IPC+200 puntos básicos, muchas de estas serían catalogadas directamente como **errores graves de diseño**, del estudio de viabilidad, sino de despilfarro. A título de ejemplo, se pueden citar algunas **circunstancias que las representan**: (i) banquetas o diques de sección casi triangular y escasamente compactadas; (ii) balsas sin pista perimetral o inferior a 3 m de ancho; (iii) banquetas o diques alabeados, sin 50 m rectos; (iv) balsas sin superficie cuasiplana de fondo (cucurucho); (v) tomas fuera del perímetro, como son en fondo flotantes y centradas; (vi) bermas innecesarias a 2 m de cota; (vii) rampas hormigonadas para acceder al fondo; (viii) riostras empotradas y solados embebidos en la lámina impermeable; (ix) muertos de hormigón distribuidos por el fondo; (x) balsas cubiertas de módulos fotovoltaicos en más de 2/3 de la superficie del fondo, (xi) balsas con carrizos y juncos en las esquinas, (xii) balsas en las que se ha intentado taponar las fugas de la geomembrana rasgada con pegotes de mortero, (xiii) balsas con aireadores que no se pueden retirar sin romper la geomembrana, y (xiv) casi siempre, la combinación de más de una de las circunstancias citadas.

Debe reseñarse también una limitación económica a tener en cuenta, que es la **limpieza de taludes**. Si bien es un servicio que ofrece el Método Limpiabalsas® en su portfolio y borrador de contrato, suele recomendar que lo haga el propietario u operador en un momento previo, bajo las directrices de Limpiabalsas® y con personal de la Propiedad o del operador. Ello es debido a que resulta sustancialmente más barato llevarse a cabo con la balsa a baja cota de agua y por medios manuales (escobones protegidos con cantoneras de goma y lanzas de agua de gran caudal y baja presión), para desplazar el barro pegado desde la parte baja de taludes hasta el fondo del vaso, donde después será recogido por el robot al precio unitario estándar del fondo.

Por último, en el **caso del mundo agrario**, los propietarios suelen estar acostumbrados al endeudamiento a largo plazo para inversiones y tienen aversión hacerlo para el gasto corriente. De tal forma que la primera actuación de extracción de sedimentos se pone cuesta arriba porque nunca antes previeron la correspondiente partida o provisión para llegado el momento. Esto hace que, desde que toman conciencia de contratación del servicio hasta que acopian los recursos, suele aplazarse la contratación entre uno y cuatro años.

10. Modelo de negocio, escalabilidad y Mercado

El Método Limpiabalsas® es un negocio **intensivo en capital** (unos 150.000 € de inversión material por puesto de trabajo), concebido de forma modular, con equipos de 4 personas para cada unidad, y que contabiliza como gasto corriente, el desarrollo en ingeniería, los ensayos y la formación de empleados.

El modelo es **escalable**, en bloques definidos por equipos de trabajo completos, con su respectiva inversión para el Mercado de las infraestructuras medianas (a partir de 0.8 Hª de superficie impermeabilizada) y grandes (Hasta unas 17 Hª). Se entiende para aquellas infraestructuras que no se encuadran en lo conocido como balsas de autor.

En cuanto al desarrollo de producto, para hacer extensivo el servicio de extracción de sedimentos también al Mercado **de las balsas de autor**, cuya densidad o frecuencia varía en función de la Comunidad Autónoma donde se considere, resulta **poco atractivo desde un punto de vista exclusivo de negocio**. Y también oneroso en cuanto a la viabilidad económica para los propietarios de las citadas infraestructuras, al objeto de acceder a poder limpiarlas sin desembalsar y de una forma abierta y respetuosa con el Medio Natural, en territorios donde algunos funcionarios de las propias administraciones autónomas prefieren no conocer formalmente la actuación y que **se ejecute en silencio**.

Para acometer este segmento de mercado, que afecta fundamentalmente a pequeñas comunidades de regantes y a muchos concesionarios particulares, deberían tomar la **iniciativa las administraciones de las comunidades autónomas** que viven esta circunstancia, o al menos participar en la búsqueda de una solución que dé luz a ese mundo de silencio.

11. Conclusiones

El Método Limpiabalsas® es un **caso de éxito** para la extracción de sedimentos sin desembalsar, con más de 20 garantías contractuales distintas, que encaja bien en todas aquellas infraestructuras que se han construido con rigor, sin ocurrencias, y que sus actuales gestores comprometidos con el Medio natural, quieran entregarlas a la siguiente generación, sin que ésta última tenga que aportar fuertes aportaciones dinerarias para recuperar o mantener la funcionalidad primigenia.

A la vez, permite la **estabilidad de precio y previsión de gasto corriente** en el largo plazo, para este servicio de extracción de sedimentos; dentro de un mundo cada vez más informado y competitivo, en cuanto a la permanente exigencia de más calidad y a menor precio, requerida para cualquier producto que deba salir al mercado.



Figura 17. Fotograma de la logística externa de un trabajo por el Método Limpiabalsas®. Carpa de control en primer plano, y central de energía en el centro.

12. Bibliografía

Existe en el mercado abundante documentación técnico-comercial y de imagen, correspondiente a varias empresas que prestan, o han prestado, servicios de extracción de sedimentos en balsas de agua bruta, bien por vía seca, por vía húmeda, y alguna sin desembalsar. Se puede acceder a sus páginas Web, o vídeos en YouTube, a través de cualquier buscador, utilizando, entre otras, las **palabras clave**: “limpiar balsa”; “limpieza balsa”; “extracción sedimentos balsas” y evitando las palabras “fango” o “lodo” que derivan siempre a sedimentos que son clasificados como residuos, procedentes de otros procesos que nada tienen que ver con el que nos ha ocupado.

En la Web www.limpiabalsas.com, en su versión para PC, abriendo la pestaña “Bibliografía” aparece información propia de conferencias y cursos impartidos, así como de distintas fuentes sobre extracción de sedimentos y de otras actuaciones colaterales. En otras pestañas se ofrece información más detallada, que la aquí reflejada, sobre sus equipos y procesos.

También puede encontrarse alguna comunicación, de carácter monográfico, más técnica que la presente, recogida en las bases bibliográficas o en los libros que recopilan las comunicaciones a congresos anuales de Aeryd, www.aeryd.es

LIBRO BLANCO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS BALSAS DE AGUA BRUTA, ¿CUÁNDO?

Guillen Torres J. (1-2), Campo Buetas F. (2); Campo Paul A. (2); Carmen Garcés D. (2).

¹ Dr. Ingeniero Agrónomo, profesor titular de la Universidad de Zaragoza. Expresidente CR Lasesa. Vicepresidente de la Asociación Española de Dirección e Ingeniería de Proyectos. Certificado Nivel B como Director de Proyectos del sistema 4LC de IPMA. E-mail: jguitor@unizar.es

² Equipo de ingenieros industriales y agrónomos de Limpiabalsas SL. E-mail: clientes@limpiabalsas.com

SINOPSIS

Más de una **docena de grados y masters habilitan** administrativamente en la geografía española para diseñar, proyectar, y dirigir, la construcción de una balsa de agua, perfectamente impermeabilizada y con unas garantías de seguridad, que la experiencia ha demostrado incuestionables: es difícil encontrar reseñas de daños significativos a terceros por reventones.

Algunas de ellas pueden calificarse de **balsas de autor**, diseñadas obviando que se trata de una inversión intensiva en capital, pero con costes de explotación no despreciables para que pueda prestar servicio durante varias generaciones. Construidas, en alguna medida, con apoyo público, y que han entrado en explotación sin un libro de Operación y Mantenimiento (manual de usuario), que oriente a los técnicos que tengan la responsabilidad de operarlas y mantenerlas.

Además, los parámetros constructivos básicos, medidos durante un lustro en más de 600 balsas en explotación, de tamaño superior a 0.8 H³ de superficie horizontal impermeabilizada, pone en evidencia que **no siempre coinciden los planos finales** de construcción (cuando los hay distintos a los de proyecto), con lo realmente encontrado.



No más balsas de autor, sin atender a criterios de explotación, construidas con apoyo público, y que entran en explotación sin su libro de Operación y Mantenimiento.

FEI-03-2020

LIBRO BLANCO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS BALSAS DE AGUA BRUTA, ¿CUÁNDO?

Guillen Torres J. (1-2), Campo Buetas F. (2); Campo Paul A. (2); Carmen Garcés D. (2).

¹ Dr. Ingeniero Agrónomo, profesor titular de la Universidad de Zaragoza. Expresidente CR Lasesa. Vicepresidente de la Asociación Española de Dirección e Ingeniería de Proyectos. Certificado Nivel B como Director de Proyectos del sistema 4LC de IPMA. E-mail: jguitor@unizar.es

² Equipo de ingenieros industriales y agrónomos de Limpiabalsas SL. E-mail: clientes@limpiabalsas.com

Resumen.

Más de una docena de grados y masters habilitan administrativamente en la geografía española para diseñar, proyectar, y dirigir, la construcción de una balsa de agua, perfectamente impermeabilizada y con unas garantías de seguridad, que la experiencia ha demostrado incuestionables: es difícil encontrar reseñas de daños significativos a terceros por reventones.

Algunas de ellas pueden calificarse de balsas de autor, diseñadas obviando que se trata de una inversión intensiva en capital, pero con costes de explotación no despreciables para que pueda prestar servicio durante varias generaciones. Construidas, en alguna medida, con apoyo público, y que han entrado en explotación sin un libro de Operación y Mantenimiento (manual de usuario), que oriente a los técnicos que tengan la responsabilidad de operarlas y mantenerlas.

Además, los parámetros constructivos básicos, medidos durante un lustro en más de 600 balsas en explotación, de tamaño superior a 0.8 Hª de superficie horizontal impermeabilizada, pone en evidencia que no siempre coinciden los planos finales de construcción (cuando los hay distintos a los de proyecto), con lo realmente encontrado.

1- Introducción. Situación actual.

Se pretende evidenciar una carencia estructural y nunca publicitada, observada en la práctica totalidad de balsas de agua bruta para riego, agroindustria, ganadería y agua de boca visitadas por la empresa Limpiabalsas, entre aquellos propietarios que se ponen en contacto con la misma, para implementar en el corto plazo la extracción de los sedimentos depositados.

Son más de 600 infraestructuras visitadas en un lustro, y con un denominador común: (i) en general no tienen sistematizado el mantenimiento predictivo y preventivo, (ii) no disponen de un libro de operación y mantenimiento (manual de usuario) donde se pauten la forma de prevenir y corregir las averías sistémicas de este tipo de infraestructuras, y (iii) la robustez de las instalaciones construidas, hace que no haya prácticamente averías en los primeros años, y (iv) cuando se producen, se reparan con voluntarismo y no siempre utilizando las mejores técnicas del mercado.

2- Expectativa de vida útil de una balsa.

Con los materiales, conocimiento, medios de control y formas constructivas actuales, la construcción de una infraestructura de este tipo debe ser para varias generaciones (al menos 100 años), por no decir eterna, para cubrir las necesidades que motivaron su construcción. Es por esta razón, que debería imperar la generosidad intergeneracional, y en particular, en todas aquellas que se han construido con apoyo público.

3- Necesidad de preservar la inversión.

Con independencia de la calidad de la infraestructura construida, si no se efectúa una operación y mantenimiento predictivo y preventivo adecuados, por mucho correctivo que se realice, solo se estará constatando el envejecimiento prematuro de la infraestructura, y convirtiendo en estructural, un gasto corriente elevado, además de actuaciones puntuales que deberán financiarse de forma interanual.

Por otro lado, debe admitirse que las labores de operación, en general, se realizan de una forma muy eficiente para los medios y presupuestos de explotación con que se suele dotar el gasto corriente. En cuanto al mantenimiento predictivo y preventivo, solo se encuentra que lo hacen en un mínimo número de casos; la razón es siempre la misma: que no se dispone de presupuesto para ello, que se agotó en una avería, o que la dirección o junta de gobierno no lo considera perentorio.

Dotar adecuadamente estas partidas presupuestarias de mantenimiento predictivo, correctivo, y en algunos casos hasta la operación, como puede ser para la limpieza de sedimentos, es complicado en el sector primario, pues requiere una visión a medio plazo de los administradores, que muchas veces son órganos colegiados con mandatos temporales (comunidades de regantes) o directores de explotación que deben asegurar los resultados del ejercicio en curso y ven muy lejos o irrelevantes las consecuencias de no realizar el mantenimiento citado.

Es por esta razón, que se considera imprescindible aportar a los órganos decisores una herramienta, puramente técnica y objetiva, que les haga más conocedores de su inversión, y a la vez, ayude a los responsables de operación y mantenimiento a sistematizar por relevancia, algunas actuaciones que, con un mínimo coste, ayudan a evitar fuertes gastos en correctivo posterior.

4. Libro blanco de operación y mantenimiento de balsas de agua bruta.

Se trataría de un documento a elaborar por ingenieros de varias ramas, **especialistas de reconocido prestigio**, cada uno en su parcela de experiencia, al objeto de que todo ese vasto conocimiento y de elevado valor, pero disperso, sea recogido y puesto a disposición de aquellos concesionarios de un bien escaso como es el agua, y que forma parte imprescindible de la cadena de valor de los productos que luego ofrecen al mercado.

Así, el **objeto del documento** podría ser: (i) Recopilación normativa y de buenas prácticas para garantizar la seguridad y larga vida útil de las balsas de agua en operación, con el mínimo gasto corriente y evitación de los extraordinarios; (ii) Herramientas que mejoren la seguridad jurídica de las actuaciones cotidianas y limiten la responsabilidad por omisión o mala praxis; y (iii) Base para promulgación de algunas partes de una normativa de carácter básico.

Una primera idea de lo que podría desarrollarse por **capítulos** sería:

- a) Objeto del manual

- b) Terminología usada
- c) Documentación final de obra y de puesta en marcha.
- d) Plan de Prevención de Riesgos laborales y Plan de Emergencia
- e) Seguros de responsabilidad civil, y de explotación
- f) Registro administrativo de grandes balsas
- g) Revisiones administrativas periódicas
- h) Mantenimiento predictivo y preventivo de elementos de obra civil
- i) Revisiones Mantenimiento predictivo geomembrana
- j) Mantenimiento predictivo y preventivo de instalaciones mecánicas
- k) Mantenimiento predictivo y preventivo de instalaciones eléctricas
- l) Mantenimiento predictivo y preventivo de instalaciones telemando
- m) Mantenimiento predictivo y preventivo de sistemas de autoprotección
- n) Mantenimiento de Sistemas e Instalaciones para el control de plantas acuáticas
- o) Mantenimiento de Sistemas e Instalaciones para el control de bivalvos
- p) Extracción de sedimentos
- q)
- r)
- s) Tratamiento de algunas averías y siniestros
- t) Registros en Libro de mantenimiento.
- u) Fabricantes / Distribuidores de algunos elementos.
- v) Bibliografía temática
- w) Autores y contacto

5- Conclusión

Confiamos haber creado una expectativa que atraiga y aporte la colaboración de varios profesionales al objeto de elaborar el Libro blanco propuesto. Ayudaría a formar ingenieros, evitando que se proyecten más “**balsas de autor**”, sin atender a criterios de explotación, construidas con apoyo público, y que entran en explotación sin su libro de Operación y Mantenimiento.

5- Bibliografía

No aplica, salvo para partes muy concretas y específicas difundidas por prestadores de servicios, pues si existiera para aplicación o para docencia en algún grado o master, carecería de interés la presente comunicación.

Anexo. Poster con propuesta publicado y expuesto en el Congreso (Fig. 1)

FEI-04-2020

INNOVACION: PERFIL DE ACERO PARA DOBLE JUNTA ELÁSTICA CON VÁLVULA DE COMPROBACIÓN EN TUBERÍA DE HORMIGÓN CON CAMISA DE CHAPA DE GRAN DIÁMETRO

Juan Pablo Guerrero Pasquau (P)

Prefabricados Delta S.A.
Director Comercial
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos Politécnica de Madrid
C/ Federico Salmón nº 13, Madrid

Resumen

Prefabricados Delta en la constante búsqueda de mejora e innovación que se marca para la fabricación de todos sus productos, ha desarrollado para instalaciones de tubería de presión de gran diámetro (DN1600 a DN2500 mm) la introducción de la doble junta elástica con válvula de comprobación para su tubería de hormigón armado y postesado con camisa de chapa.

1. INTRODUCCIÓN.

Prefabricados Delta ha desarrollado para instalaciones de tubería de presión de gran diámetro la introducción de la doble junta elástica con válvula de comprobación para su tubería de hormigón armado y postesado con camisa de chapa. Esta junta doble se ha utilizado por primera vez en España para una obra de SEIASA (Sociedad Estatal de Infraestructuras Agrarias) en la obra "Modernización de los regadíos de la zona regable dependiente del Paramo Bajo (León), sector VI y Sector III", donde la construcción ha sido a cargo de TRAGSA (Empresa de Transformación Agraria).

Está disponible esta junta en los siguientes diámetros de DN1600 a DN2500.

La obra consiste en la instalación de 6350 mts de tubería de DN2200 y MDP 3 atm. Esta obra se encuentra terminada con todas las pruebas hidráulicas de presión pasadas con resultado satisfactorio.

DOI:10.31428/10317/8724

También la hemos utilizado en el suministro de 7050 mts de tubería de DN2000 y MDP 4 atm para la obra de “Modernización de los regadíos de la zona regable dependiente del Páramo Bajo (León), sector IV” para las administraciones de SEIASA e ITACYL.



También la hemos instalado este tipo de tubería en diámetro de DN2500 en el “Desdoblamiento de los sifones 4, 5 y 8 del Canal del Piedras en Cartaya”, Huelva durante los años 2018 y 2019. Proyecto promovido por la Demarcación Hidrográfica del Tinto-Odiel-Piedras de la Junta de Andalucía, para ampliar el abastecimiento de las ciudades costeras de Huelva, incluida la capital y las fundamentales Comunidades de Regantes de la Zona (Fresno, Palos de la Frontera, Piedras).



Esta junta ha sido una mejora en lo referente a las juntas, respecto a lo que normalmente se ha utilizado en este tipo de tubería de gran diámetro:

- Junta rígida para soldar.
- Junta flexible o elástica sencilla.

La junta doble con válvula de comprobación en tubería de gran diámetro (tuberías mayores de DN1800) presenta las siguientes ventajas respecto a las soluciones tradicionales:

- Respecto a la soldada:
 - Mejor comportamiento frente a posibles asentamientos del terreno de la zanja.
 - Junta muy sencilla, evitando las soldaduras. De esta forma se evitan muchos riesgos técnicos de montaje.
 - Mayor rapidez en el montaje de la junta elástica, simplemente enchufando.
 - En cuanto al uso de junta elástica, garantiza la no continuidad eléctrica de la conducción evitando así la preparación de la conducción para protección catódica.
- Respecto a la elástica sencilla:
 - La válvula de comprobación te permite asegurar la posición de las juntas de goma, por tanto la estanqueidad y funcionamiento correcto de la junta.

Tal y como se puede apreciar en la figura 1, la junta flexible se realiza mediante unas boquillas metálicas (macho y hembra) situadas en los extremos del tubo entre las que se aloja un anillo elastomérico. Hay que destacar la gran calidad alcanzada en la ejecución de ambas boquillas debido a las estrictas tolerancias de fabricación.

Habitualmente, la boquilla macho se realiza con un perfil laminado que en función del diámetro interior de la tubería será el denominado M-20 ó el M-16.

Las superficies de las boquillas que quedan al descubierto y se protegen contra la corrosión mediante el pintado de las mismas aplicando una imprimación de zinc (galvanizado en frío) y resina epoxi alimentaria.

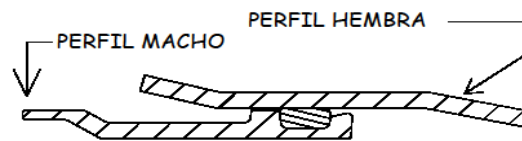


Fig. 1

En la constante búsqueda de mejora e innovación que Prefabricados Delta se marca para la fabricación de todos sus productos, surge la idea de montar en el cabezal macho, un tipo de junta doble Fig 2 (A) frente a la habitual Fig 2 (B) a fin de garantizar inmediatamente tras su montaje, un mejor funcionamiento y estanqueidad de la misma.

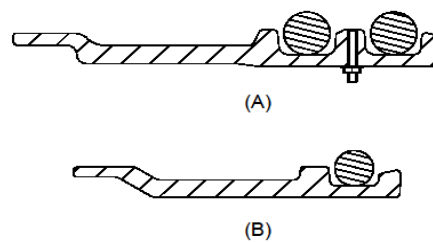


Fig. 2

2. SOLUCIÓN ADOPTADA.

Como se ha comentado anteriormente, se ha optado por este tipo de unión en tubería de gran diámetro, ya que presenta una importantísima ventaja frente a los cabezales habituales.

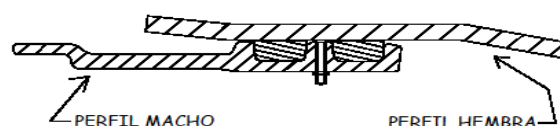


Fig. 3

Este tipo de perfil doble (Fig. 3) monta, entre ambos alojamientos de la junta, una válvula (Fig.4) que nos permitirá una vez realizado el enchufe de dos tubos, poder comprobar la estanqueidad de la unión en ese momento y con una total garantía.



Fig. 4

De este modo, cuando se establezca el tramo a probar hidráulicamente, se tendrá la certeza de que la prueba será satisfactoria, al menos en lo que al montaje de la tubería se refiere.

La implementación de esta solución en nuestro proceso de fabricación supone que una vez montado los cabezales en la camisa de acero, se realiza un taladro roscado pasante sobre el tetón central del cabezal macho. La válvula se monta roscada en dicho taladro con el utillaje necesario y por último se rosca un tapón metálico en el extremo que queda en el interior del tubo (Figs. 5 y 6).

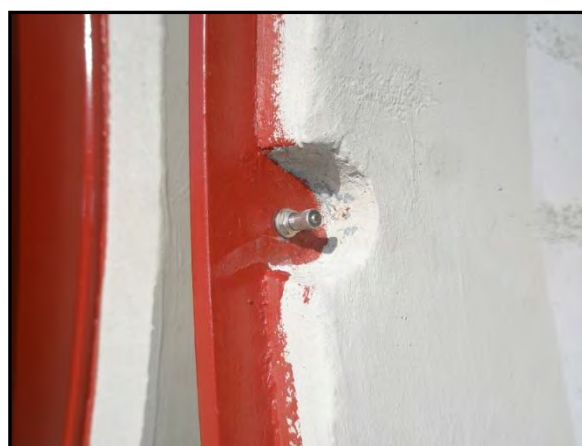


Fig. 5



Fig. 6

El procedimiento es muy sencillo y se realiza simultáneamente al propio montaje de la conducción, con lo cual no afecta al rendimiento del montaje.

Una vez enchufados dos tubos, el montador se introduce en el interior del mismo.

La prueba la realizaremos con una bomba/compresor de aire autónomo recargable (Fig.7) que dispone a su vez de un dispositivo con manómetro y válvulas de llenado y vaciado (Fig.8), lo cual nos permitirá ir viendo la presión que se va suministrando en cada momento hasta alcanzar el valor deseado.

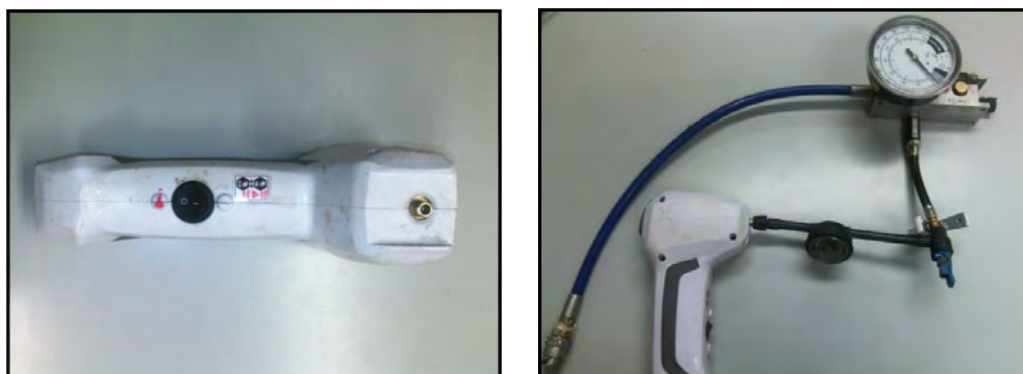


Fig.7

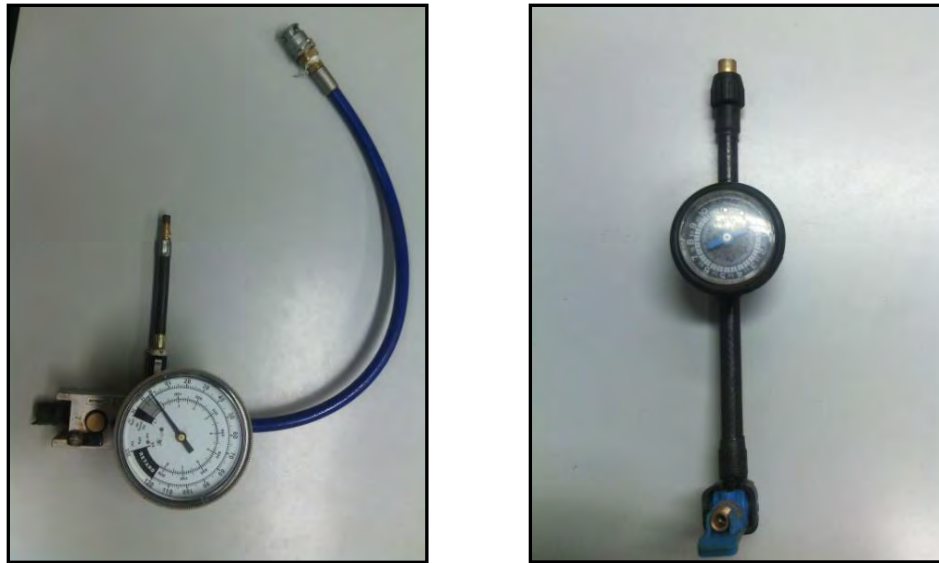


Fig.8

Cuando el enchufe de los tubos se ha ejecutado correctamente, entre ambas juntas elásticas y los cabezales, queda una cámara de aire entre ambas juntas de goma a lo largo de todo el perímetro del cabezal que es lo que comprobaremos con el aire introducido por la bomba.

Que el fluido sea aire en vez de agua nos permite tener mayor fiabilidad en lo que se refiere a detectar posibles fallos en el montaje (mayor sensibilidad) y también comodidad ya que no se precisa depósito alguno como en el caso de agua.

Alcanzado el valor de la presión impuesto en la prueba, se parará la bomba y se determinará el tiempo de espera tras el cual, se comprobará que dicho valor de presión no ha variado (Fig.9). De esta manera verificamos que las juntas nos ofrecen una total estanqueidad en la unión de esos dos tubos.



Fig.9

Este mismo procedimiento se repetirá cada vez que se vayan montando los sucesivos tubos.

Este tapón, una vez efectuada la prueba de la junta se vuelve a colocar y quedando así definitivamente en el interior de la conducción en régimen de funcionamiento.

3. CONCLUSION.

Todo este sistema está provocando garantía de estanqueidad a nuestros clientes en tuberías de gran diámetro, con un ahorro muy importante en las posteriores pruebas de presión de la conducción, ya que estas aseguran que el sistema sea estanco a priori, por lo que las contratas hacen las pruebas con tramos de mayor longitud, lo que reduce el número de pruebas de presión.

Podemos decir que la prueba de presión final es redundante, ya que tú has asegurado tubo a tubo durante la instalación que el sistema es estanco.

FEI-05-2020

CORENET- COREGEST

SERVICIOS Y SISTEMAS PARA TRANSFORMACION DIGITAL DE LAS COMUNIDADES DE REGANTES



- **Desde 1997** ayudando a las Comunidades de Regantes en la aplicación de Tecnologías de la Información para mejorar su funcionamiento.
- **Experiencia con todo tipo de Comunidades** (tradicionales y modernizadas) en toda España.
- **Actividad constante de mejora** de las herramientas y actividad de I+D en colaboración con los centros de investigación más importantes.
- **Continuidad**
- **Apoyo a la Comunidad** continuo.



**Gestión y
Mantenimiento del
Parcelario**



**Procedimientos de
gestión del agua**



**Procedimientos de
Facturación,
Recaudación y control de
costes**



**Procedimientos de gestión de
energía.**



**Procedimientos de
relación con el regante**



**Información de gestión
suministrada por
automatismos y sensores.
IOT**



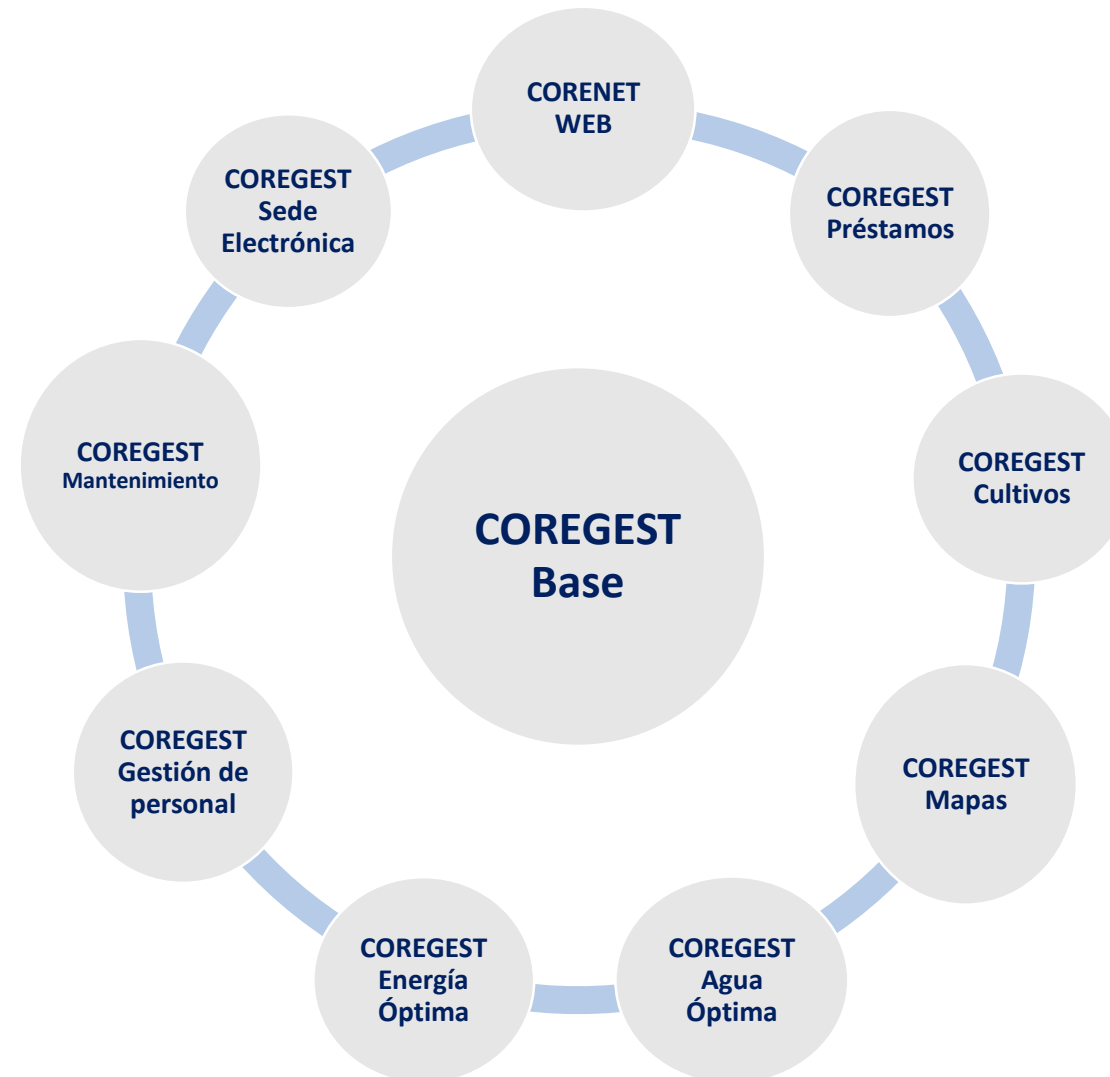
**Procedimientos de
gestión de
documentación**



**Procedimientos de
mantenimiento de
infraestructuras y gestión del
personal**

HERRAMIENTAS PARA SOPORTE DE LA COMUNIDAD

- MODULOS SELECCIONABLES EN FUNCION DE LAS NECESIDADES DE CADA COMUNIDAD
- MODULOS ADAPTABLES EN FUNCION DE LAS NECESIDADES DE CADA COMUNIDAD
- INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN CON AUTOMATISMOS , SERVICIOS DE INFORMACIÓN EXTERNOS Y DISPOSITIVOS IOT
- INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA , TELEDETECCION



Uso intensivo de TIC para:

- Automatizar la gestión de ventas de agua desde la CG a C. de Base (toma única).
Permitir una gestión de asignaciones de agua a los regantes totalmente flexible y transparente.
- Simplificar el proceso de venta de agua al regante incluyendo ventas por Internet.
- Gestionar ventas de agua con y sin IVA (posibilidad desgravación para empresas)
Herramientas de gestión adicionales tales como Gestión Documental, Registro de Entrada-Salida electrónico
- Permitir, en siguientes fases del proyecto venta de agua por Internet, Gestión de Mantenimiento, WebGIS , gestión del canal y uso óptimo del agua.

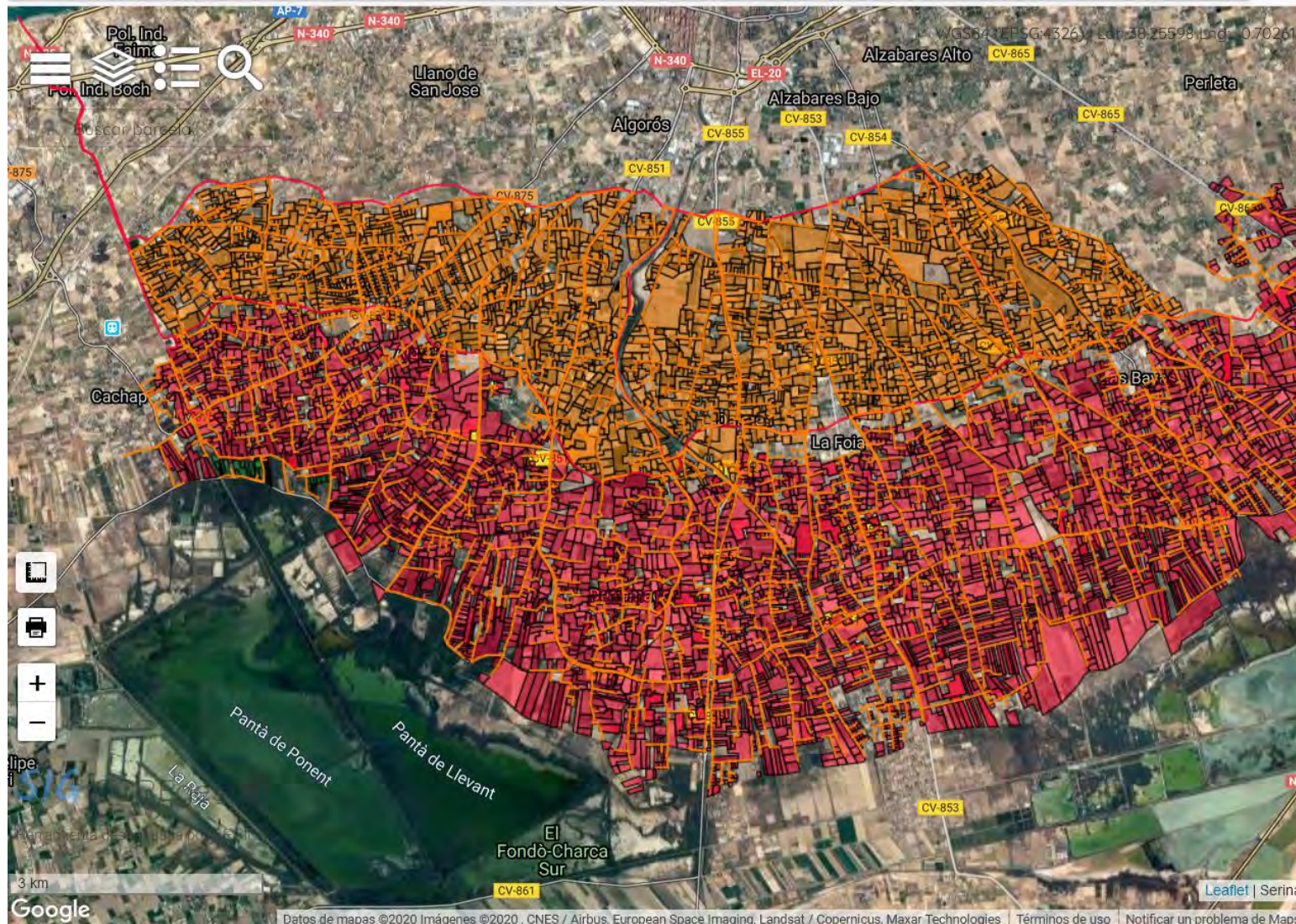
COMUNIDAD GENERAL
Riegos de Levante Margen Izquierda del
Segura



COMUNIDADES DE BASE
El Canal
Bacarot
6º y 7º de Levante
Tercero de Levante
6º y 7º La Peña
Crevillente
Orihuela



Regantes



COMUNIDAD GENERAL
Riegos de Levante Margen
Izquierda del Segura



Sistema WebGIS
integrado

FEI-06-2020



BOLLFILTER
Protection Systems

Jornada Virtual de Riegos
Filtración con Elementos Plisados
aquaBoll®

Bollfilter España
23 sep 2020

2 Problemática filtración agua a baja presión y grados de filtración exigentes

- Altas superficies filtración con mallas adecuadas y eficientes.
- Elementos filtrantes plisados, características, cálculo y dimensionamiento.
- Experiencias en Riego y resultados .

aquaBoll

Inserto plisado de malla fino

Filtración de macropartículas (MIP)

Materiales internos			
Elemento filtrante	Placas, anclajes, tornillos & piezas estampadas: 1.4571 / 316 TI	Malla-Paquete BWT: 1.4410/ SD malla fina UNSN04400 / Monel400 soporte-malla	
		Paquete de malla industrial: 1.4401 / 316L soporte & malla fina	
Instalación de BW	Placas, anclas, tornillos estampados de piezas: 1.4571 / 316 TI	Cojinetes: CuZn39Pb2 / EPDM	Sellamientos: EPDM
Sellamientos	EPDM		





ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE RIEGOS Y DRENAJES

General Arrando 38 · 28010 · Madrid
Telf: 91 533 22 53 · Fax: 91 533 22 53

